CANMET

Canada Centre for Mineral and Energy Technology

Centre canadien de la technologie des minéraux et de l'énergie

RAPPORT 84-15F

MESURES DE L'IMPÉDANCE À L'INTERFACE SEMI-CONDUCTEUR-SOLUTION

J. LEDUC et S.M. AHMED

91 pp

PROGRAMME DE RECHERCHE SUR L'ÉNERGIE
LABORATOIRES DES SCIENCES MINÉRALES

JUIN 1985

Energy, Mines and Resources Canada
Énergie, Mines et Ressources Canada

Canada

86-02874/

©Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1986

En vente au Canada par l'entremise de nos

agents libraires agréés
et autres librairies

ou par la poste auprès du:

Centre d'édition du gouvernement du Canada
Approvisionnements et Services Canada
Ottawa (Canada) K1A 0S9

N° de catalogue M38-13/84-15F
ISBN 0-660-91708-4

au Canada: $ 9.95
à l'étranger: $11.95

Prix sujet à changement sans préavis

MESURES DE L'IMPÉDANCE À L'INTERFACE SEMI-CONDUCTEUR-SOLUTION

par

J. Leduc* et S.M. Ahmed*

RÉSUMÉ

On présente de façon détaillée la physique et la chimie de l'interface semi-conducteur-solution, en insistant particulièrement sur la mesure de l'impédance et la détermination du potentiel du plat des bandes de la surface semi-conductrice. On élabore aussi la théorie fondamentale de la mesure de l'impédance en courant alternatif à l'interface semi-conducteur-solution. On décrit enfin les techniques de la mesure de l'impédance et de l'analyse des données ayant servi à établir une méthode de contrôle expérimental et de collecte de données faisant appel à un pont LCR et à un micro-ordinateur. Le logiciel nécessaire a été mis au point.

Des mesures de l'impédance d'électrodes de GaAs-n sur la face (1 1 1) ont montré l'existence d'un changement chimique irréversible dans la région anodique qui est absent sur la face opposée ($\bar{1}\ \bar{1}\ \bar{1}$).

---

*Chercheur scientifique, Section de la chimie physique, Laboratoires des sciences minérales, Centre canadien de la technologie des minéraux et de l'énergie, ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources, Ottawa, Canada.

IMPEDANCE MEASUREMENTS AT THE SEMICONDUCTOR-SOLUTION INTERFACE

by

J. Leduc* and S.M. Ahmed*

ABSTRACT

The physics and chemistry of the semiconductor-solution interface have been presented in detail with particular reference to impedance measurements and determination of the flat band potential of the semiconductor surface. The basic theory of A.C. circuits applied to impedance measurements at the semiconductor-solution interface has been developed. Techniques for impedance measurements and data analysis have been described for a method using an LCR meter and a computer for experimental control and data acquisition. The necessary software has been developed.

Impedance measurements on n-GaAs electrodes on the (1 1 1) face have revealed an irreversible chemical change in the anodic region absent for n-GaAs on the opposite face ($\bar{1}\ \bar{1}\ \bar{1}$).

---

*Research Scientist, Physical Chemistry Section, Mineral Sciences Laboratories, Canada Centre for Mineral and Energy Technology, Department of Energy, Mines and Resources, Ottawa, Canada.

TABLE DES MATIÈRES

		Page
RÉSUMÉ		i
ABSTRACT		ii
I	INTRODUCTION	1
II	L'INTERFACE SEMI-CONDUCTEUR-SOLUTION	1
	a. Structure générale	1
	b. La couche de Helmholtz et la distribution de la charge et du potentiel	3
	c. États de surface	4
	d. La couche de la charge d'espace et la capacité	5
	(i) Surface du semi-conducteur	5
	(ii) Charge d'espace et capacité	6
	(iii) La capacité des couches d'accumulation, d'inversion et d'appauvrissement	7
	(iv) L'approximation de Mott-Schottky	8
III	TECHNIQUES DE MESURE	8
	a. Théorie fondamentale des circuits alternatifs	8
	b. Schéma équivalent type d'une cellule électrochimique à semi-conducteurs	11
	c. Principes du pont LCR; méthode des cinq bornes	13
IV	MESURES DE LA CAPACITÉ D'ÉLECTRODES DE GaAs DE TYPE N, AVEC LA FACE (1 1 1) EN CONTACT AVEC LA SOLUTION	14
	a. La face ($\bar{1}\ \bar{1}\ \bar{1}$) du GaAs	14
	b. Matériaux et préparation des électrodes	15
	c. Méthodes expérimentales	15
	(i) Stabilisation des électrodes avec une contre électrode réversible	15
	d. Résultats et discussion	17
RÉFÉRENCES		20
ANNEXE I:	LOGICIEL DE SAISIE DES DONNÉES ET DE COMMANDE	23
	a. Le bus IEEE-488	25
	b. Le système à trois électrodes avec logiciel	25
	c. Le système à deux électrodes	27
	d. Le système à deux électrodes et le système à trois électrodes avec logiciel: avantages et inconvénients	27
	e. Traitement des données	28
ANNEXE II:	NOTES SUR LE LANGAGE BASIC DE HEWLETT-PACKARD	29
	a. Élément n'appartenant pas au code ANSI	31
	b. Lignes multi-instructions	31
	c. Entrée/sortie	31
	d. Périphériques symboliques et entrée/sortie rapide	31
	e. Interruptions vectorisées	31
	f. Interruption de demande de prise en charge	31

TABLE DES MATIÈRES (suite)

Page

g. Codes de périphérique 32

h. L'instruction TRIGGER 32

ANNEXE III: LISTAGE BASIC: LOGICIEL DE SAISIE DES DONNÊES ET DE COMMANDE 33

FIGURES

n°

1. Niveaux d'énergie de la cellule électrochimique 2
2. Potentiels et charges d'interface 5
3. Capacité de la charge d'espace en fonction de la hauteur de la barrière 7
4. Diagrammes d'Argand des circuits alternatifs simples 10
5. Schéma équivalent d'une cellule électrochimique à électrode de travail au GaAs-n, gardée dans le noir et travaillant à 1 KHz 12
6. Circuit sonde à trois points 13
7. Technique à cinq bornes 14
8. Polarisabilité de l'électrode au GaAs-n 16
9. Photogravure, alignement unique 17
10. Attaque douce, à deux alignements 18
11. Photogravure, à quatre alignements 18
12. Photogravure, barbottage d'oxygène, deux alignements 19
13. Méthode au potentiostat 25
14. Système à trois électrodes avec logiciel: programme principal (PDL) 26
15. Système à deux électrodes (PDL) 27

I INTRODUCTION

La mesure de l'impédance à l'interface semi-conducteur-solution est une importante technique utilisée dans les études de la physique électrochimique des semi-conducteurs. De telles études ont été entreprises aux Laboratoires des sciences minérales dans le cadre d'un vaste programme dont l'objet est de mettre au point des catalyseurs semi-conducteurs destinés à la conversion de l'énergie solaire en énergie électrique sous des formes chimiques stockables (p. ex., hydrogène et hydrocarbures) par le recours à des procédés électrocatalytiques ou photo-électrocatalytiques (1).

Bien que la mesure de l'impédance ait déjà servi aux études de la cinétique et des mécanismes de réaction pour des électrodes métalliques (2), la principale application de la technique aux électrodes semi-conductrices est l'évaluation de la capacité de la zone de charge d'espace (C_{sc}), du potentiel du plat des bandes (U_{fbp}), de la concentration des donneurs, des états de surface induits par adsorption et des états de surface internes, par exemple par mesure de la photocapacité par illumination de la partie inférieure à la bande interdite. Le potentiel du plat des bandes, auquel l'inflexion des bandes est nulle, est une propriété fondamentale des semi-conducteurs. La connaissance de U_{fbp} est aussi essentielle à l'établissement du diagramme des niveaux d'énergie ainsi qu'à la compréhension de la photo-excitation et du transfert des charges.

Les méthodes antérieures de mesure de C_{sc} faisaient appel à des ponts et consistaient à comparer C_{sc} à des capacités connues (3-6) en régime stabilisé. On a par ailleurs aussi employé des techniques à pulsations en courant continu (7,8) qui permettaient de mesurer les courbes de charge à l'aide d'un oscilloscope, et d'évaluer C_{sc} au moyen de la relation $C_{sc} = i(t)/(dU/dt)$. Cette technique consistait à laisser le courant (i(t)) passer pendant une période de temps connue (dt) pendant laquelle la tension (dU) était mesurée. Ces techniques ont l'inconvénient de demander beaucoup de temps.

Les méthodes récemment mises au point (9-12) se fondent sur la superposition d'un champ en courant alternatif sur une tension de polarisation en continu et consistent à mesurer l'impédance à l'aide d'un amplificateur à verrouillage de phase. L'emploi d'un potentiostat pour la polarisation continue avec balayage de potentiel, à l'aide d'un système à trois électrodes, offre l'avantage de permettre de fixer avec précision le potentiel continu peu importe les réactions présentes à l'interface. La méthode que nous exposons se base sur les mêmes principes, mais l'appareillage est beaucoup plus simplifié: on emploie un pont LCR multifréquence comportant une source intégrée de polarisation continue en condition flottante non potentiostatique (système à deux électrodes). La troisième électrode, une électrode au calomel saturée (SCE) a servi uniquement comme électrode de référence pour la mesure du potentiel de l'électrode de travail. Le contrôle de l'expérience ainsi que la saisie et le traitement des données ont été réalisés à l'aide d'un micro-ordinateur relié au pont LCR et au voltmètre numérique à l'aide de bus de données IEEE-488.

Nous présentons d'abord des renseignements de base sur la structure de l'interface semi-conducteur-liquide et de la zone de charge d'espace. Nous présentons ensuite la théorie fondamentale des circuits alternatifs et des techniques de mesure. Est ensuite donnée une description des algorithmes utilisés pour la saisie des données et du logiciel de contrôle. Sont enfin donnés les résultats expérimentaux de la mesure de l'impédance du GaAs et de la détermination du potentiel du plat des bandes. Il est possible d'obtenir sur demande les listages des logiciels utilisés. Seuls sont listés dans les annexes les logiciels de saisie des données et de contrôle.

II L'INTERFACE SEMI-CONDUCTEUR-SOLUTION

a) Structure générale

L'interface semi-conducteur-solution (So-Sol) se compose habituellement d'une "double couche" électrique du côté électrolyte (solution)

et d'une couche "de charge d'espace" du côté semi-conducteur, comme il est représenté schématiquement à la figure 1. Ces couches sont capacitives et se caractérisent par une distribution non uniforme des charges et du potentiel dans la région de l'interface, comparativement à celle de la masse du matériau neutre. Le sujet général des potentiels d'interface, ainsi que les conventions utilisées à cet égard, a été traité dans un certain nombre d'études (13-18).

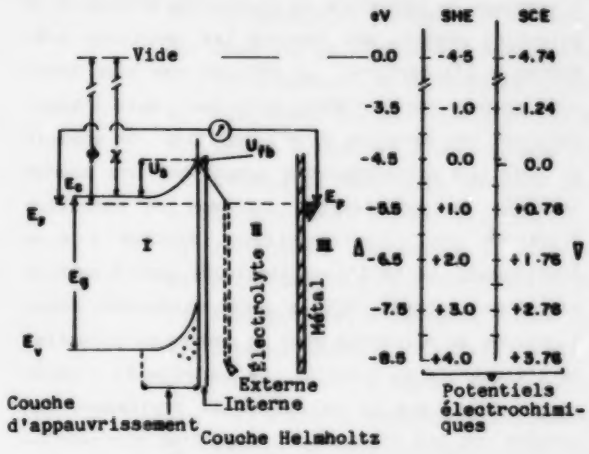


Fig. 1 - Niveaux d'énergie de la cellule électrochimique

À la figure 1, l'interface Sc-Sol est montrée comme partie d'une cellule électrochimique, en condition de court-circuit et d'équilibre, de sorte que le niveau de Fermi (E_F) ou que les potentiels électrochimiques des électrons ($\bar{\mu}$) des différents états aient même valeur par le flux électronique d'un niveau inférieur à un niveau supérieur. Dans le cas présent, $EF = \bar{\mu}/F$, où F est la constante de Faraday. La position de E_F sur une échelle de potentiel peut être mesurée par comparaison à une électrode de référence, telle l'électrode standard d'hydrogène (SHE) ou l'électrode au calomel saturée (SCE). Trois échelles de référence de ce genre, une pour les niveaux d'énergie à l'état solide (eV) et les deux autres (SHE et SCE) pour les potentiels électrochimiques, sont montrées à la figure 1, pour lesquelles le zéro est le niveau du vide. Ainsi le niveau du vide (0.0 eV) coincide avec le potentiel -4,5 V (SHE, pH=0) ou le potentiel -4,74 V (SCE). Les potentiels électrochimiques varient de -0,059 V quand le pH augmente d'une unité. Enfin, l'échelle des niveaux d'énergie électronique, qui sert à exprimer le travail d'extraction (ϕ) du semi-conducteur, est de sens opposé aux deux échelles électrochimiques, comme le montre également la figure 1.

Le type de charge d'espace montrée à la figure 1 pour un semi-conducteur de type n est une couche d'appauvrissement; les bandes sont illustrées infléchies vers le haut, depuis la masse du matériau vers la surface. Cette inflexion des bandes ou hauteur de barrière est denotée U_s à la figure 1. Il sera montré mathématiquement plus tard que cette inflexion des bandes se produit quand la concentration (n_s) des porteurs majoritaires (électrons dans le cas d'un semi-conducteur de type n) dans la zone de charge d'espace est plus petite que dans la masse du matériau (n_b), de sorte qu'il y a excès de donneurs ionisés (+ ve dans un semi-conducteur de type n) dans la région d'appauvrissement. La couche d'appauvrissement dans un semi-conducteur de type p se forme de façon semblable, les porteurs majoritaires étant toutefois des trous.

Une couche d'accumulation se forme de façon semblable quand $n_s > n_b$, les bandes s'infléchissant alors vers le bas depuis la masse du matériau vers la surface (non illustré à la figure 1).

Un semi-conducteur peut posséder une couche de charge d'espace interne présentant une inflexion naturelle des bandes, de sorte que la charge d'espace nette est neutralisée par la présence d'une contre-charge à la surface (états de surface, voir plus loin). Dans tous les cas, à moins que le semi-conducteur ne possède un niveau E_F captif (par les états de surface), les bandes peuvent être infléchies vers le haut ou vers le bas à la surface, ce qui produit une couche d'appauvrissement ou une couche d'accumulation, par l'application d'une tension positive ou négative au semi-conducteur, tension mesurée par rapport au potentiel du plat des bandes. Il est aussi possible d'appliquer un potentiel électrochimique pour produire le même effet en se servant d'un couple oxydo-réducteur comme source ou puits d'électrons.

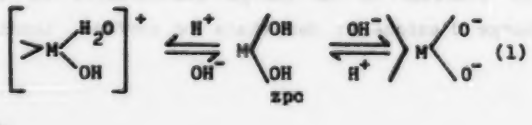
Le potentiel auquel les bandes demeurent plates est appelé potentiel de plat des bandes (U_{fbp}). À ce potentiel, la surface du semi-conducteur demeure électriquement neutre et il n'existe pas de charge d'espace excédentaire. Par suite, si U_s désigne le degré d'inflexion des bandes (fig. 1), l'intensité du champ dU/dx est alors nulle au potentiel U_{fbp} et la capacité différentielle de la couche de la charge d'espace est minimale pour un semi-conducteur intrinsèque.

La création d'une région de grand appauvrissement par l'application d'une polarisation anodique est des plus intéressante dans le présent travail pour la détermination du potentiel U_{fbp} par mesure de l'impédance de l'interface semi-conducteur-solution. Lorsqu'une importante polarisation inverse (anodique) est appliquée, la région de la charge d'espace est presque entièrement dépourvue de porteurs majoritaires, et il ne reste alors dans les couches d'appauvrissement que les atomes d'impureté ionisés du donneur (type n) et de l'accepteur (type p). Ce sujet est traité plus amplement dans la section qui suit.

La figure 1 représente assez fidèlement le diagramme des niveaux d'énergie d'un semi-conducteur au TiO_2 de type n présentant une bande interdite Eg de 3eV, quand le potentiel U_{fbp} est tout juste inférieur au potentiel d'évolution de l'hydrogène (~-0,15 V, SHE) pour un pH = 0.

b) La couche de Helmholtz et la distribution de la charge et du potentiel

La charge superficielle (±) du semi-conducteur du côté solution de l'interface découle de la dissociation acide-base fonction du pH des groupes superficiels ou encore de l'adsorption-désorption des ions déterminant le potentiel (p. ex., H^+, OH^- pour les oxydes et les ions réticulaires comme le $S^=$ et les ions métalliques dans le cas des sulfures métalliques). Cet équilibre à l'interface oxyde-solution, par exemple, est représenté par:



(1)

etc.

Cette charge superficielle excédentaire (±) est entourée d'une couche de molécules d'eau orientées qui constituent la couche compacte de Helmholtz (couche Hm). La contre-charge excédentaire ($\mp$) est distribuée dans une partie diffuse de la double couche connue sous le nom de couche de Gouy, et est habituellement séparée de la charge superficielle par la couche de Helmholtz, à l'exception de certains ions qui sont spécifiquement adsorbés sur la surface par déplacement des molécules d'eau. La contre-charge de la double couche diffuse est constituée par les ions électrolytiques indifférents, de sorte que cette double couche ionique constituée de la charge superficielle excédentaire (±) et de la contre-charge ($\mp$) est dans l'ensemble électriquement neutre.

Le pH de la charge superficielle nulle est appelé point de charge nulle (zpc) et est la contrepartie du potentiel de plat des bandes; au point de charge nulle, la charge superficielle efficace et par suite l'intensité du champ à l'extérieur de la couche Hm sont donc toutes deux nulles. Soit U_H le symbole désignant la chute de potentiel dans la couche de Helmholtz. U_H varie donc avec le pH à l'équilibre (pH_{eq}) à raison de -0,059 V par augmentation du pH d'une unité, pour la plupart des semi-conducteurs oxydes et pour certains semi-conducteurs non oxydes (p. ex., GaAs et GaP) et à raison de ±0,0295 V par unité de pH pour certains sulfures. Par suite,

$$\Delta U_H = -0{,}059(pH_{eq} - pH_{zpc}) \qquad (2)$$

Ce sujet a été traité en détail dans d'autres publications par l'un des auteurs (15,19,20). Le potentiel U_{fbp} et la chute de potentiel U_H sont donc liés, par rapport à l'électrode SHE, de la façon suivante:

$$U_{fbp}\,(SHE) = \chi + \Delta E_F + U_H - 4{,}5 \qquad (3)$$

ou

$$U_{fbp}\,(SHE) = \phi_{sc} + U_H - 4{,}5 \qquad (4)$$

dans lesquelles χ est l'affinité électronique et ϕ_{sc} est le travail d'extraction du semi-conduc-

teur, ΔE_F étant la différence entre et ϕ_{sc}. Le dernier terme des équations 3 et 4 est de 4,74 pour une électrode SCE (voir la figure 1).

La couche de Helmholtz est d'une épaisseur d'environ 0,3 nm et sa constante diélectrique, ϵ est approximativement 7. Elle se compose de doublets d'eau orientés et est capacitive. Cependant, la couche de Gouy ou double couche diffuse est semblable à la couche de la charge d'espace du semi-conducteur. La longueur de Debye (voir plus loin), qui est l'épaisseur de la double couche diffuse, dépend de la concentration de l'électrolyte et se situe entre 1000 et 1 nm pour une concentration d'électrolyte monovalent allant de 10^{-6} à 10^{-1} ML^{-1}. Cela est comparable à la profondeur de la charge d'espace du semi-conducteur (ϵ = 16) possédant une concentration de porteurs variant entre 10^{14} et 10^{18} cm^{-3}. Par conséquent, la double couche diffuse d'une solution électrolytique unimolaire est négligeable dans les mesures de l'impédance et n'a donc pas été incluse à la figure 1 ni dans les schémas équivalents correspondants. Pour les électrodes métalliques, l'importance de la densité des porteurs (10^{22} cm^{-3}) crée une profondeur de charge d'espace de seulement 0,05 nm, ce qui est également négligeable.

c) <u>États de surface</u>

Les états de surface sont des niveaux d'énergie localisés qui apparaissent à la surface du semi-conducteur dans la zone de la bande interdite par suite a) de l'interruption de la périodicité du réseau cristallin, b) de la présence d'imperfections dans le réseau, de la non-homogénéité de la composition chimique et de la présence d'irrégularités géométriques, c) de la présence d'impuretés adsorbées, d) de la polarisation électrique et e) du contact avec une autre phase possédant un travail d'extraction différent. De plus amples renseignements sur les états de surface et sur leurs statistiques d'occupation sont donnés dans un certain nombre de communications et d'études (15,21-32), particulièrement pour ce qui a trait à l'interface semi-conducteur-solution (15,26-31).

Si le niveau de Fermi de la phase semi-conducteur passe par les niveaux d'énergie des états de surface, E_t, ($E_t \sim E_F$), le changement maximal peut se produire dans l'occupation de ces états. L'état peut alors servir de niveau donneur ou accepteur. Lorsque $E_t - E_F \ll kT$, des électrons peuvent être excités des niveaux de surface donneurs et passer dans la bande de conduction. De façon semblable, des électrons peuvent être excités dans la bande de valence et passer à des états accepteurs. Si l'équilibre est maintenu entre les états de surface et la couche de charge d'espace, alors cette dernière couche possède une charge égale mais de signe opposé à celle de la première, pour les charges d'espace internes. Une surface peut présenter une série de niveaux de surface indépendants. La densité totale des électrons capturés ou donnés par tous les états de surface est donnée par la somme de leurs occupations distinctes (25).

En changeant E_F et l'inflexion des bandes, par exemple en appliquant une tension externe, l'occupation des états de surface peut être changée.

La charge présente dans les états de surface est décrite (24,32) comme étant la partie de la charge d'espace qui, bien que n'étant pas un élément de la charge d'espace étendue, est néanmoins en bon contact électrique et en l'équilibre électronique et thermique avec la bande de conduction ou de valence. D'autre part, les groupes de surface chimiquement ionisables qui constituent la charge de surface de la couche de Helmholtz sont à l'équilibre ionique et électrochimique avec la solution électrolytique, comme il a été précisé plus tôt. Ainsi, en l'absence d'un champ électrique externe, les conditions de neutralité électrique sont maintenues, de sorte que

$$q_{sc} + q_{ss} + q_{sH} + q_{sol} = 0 \qquad (5)$$

où les termes q_{sc} et q_{ss} désignent respectivement les densités de la charge excédentaire de la charge d'espace et des états de surface, tandis

que q_{sH} et q_{sol} sont respectivement la densité de charge de surface excédentaire de la couche Hm et celle de la contre-charge de la région de la couche diffuse de Gouy.

Les états de surface participent également au processus de recombinaison et agissent comme pièges (23,24). Les temps de relaxation permettent également de distinguer des états de surface rapides et lents. Les temps de relaxation des états de surface rapides sont de l'ordre de la milliseconde ou moins et la densité de ces états est petite ($\sim 10^{11}$ cm^{-2}) devant celle des états de surface lents ($\sim 10^{13}$ cm^{-2}, pour du propre).

La charge d'espace peut par suite être étudiée expérimentalement par recours à des techniques d'impulsions de courte durée ou à des signaux en alternatif de fréquences suffisamment élevées, pourvu que la densité des états de surface rapides demeure petite.

d) La couche de la charge d'espace et la capacité

(i) Surface du semiconducteur

La distribution de la charge et du potentiel à l'interface semi-conducteur-solution, décrite précédemment, est représentée schématiquement à la figure 2 A et B.

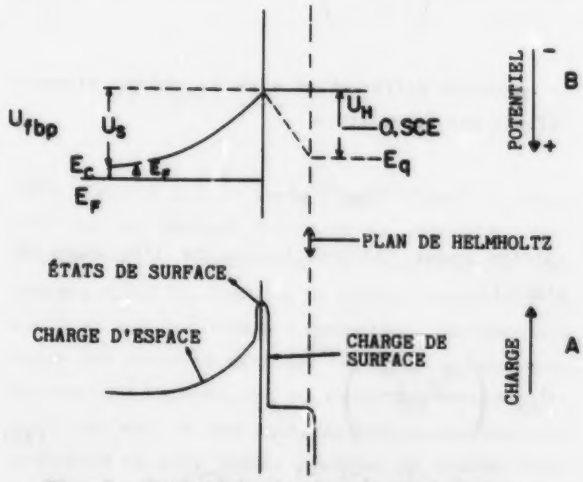


Fig. 2 - Potentiels et charges d'interface

La relation entre la densité de charge d'espace $\rho(x)$ à la distance x, dans une direction normale à la surface, et le potentiel de surface U peut être obtenue de l'équation unidimensionnelle de Poisson (37)

$$\nabla^2 U = \partial^2 U/\partial x^2 = -(1/\varepsilon\varepsilon_o)\,\rho(x) \qquad (6)$$

dans laquelle ∇^2 est l'opérateur laplacien et ε et ε_o sont respectivement la constante diélectrique relative à la surface du matériau et la permittivité du vide. La densité de charge nette $\rho(x)$ ($C\ cm^{-3}$) est celle à la fois des charges mobiles (n_x et p_x) et des donneurs et accepteurs ionisés (N_D et N_A), de sorte qu'elle devient

$$\rho(x) = e(N_D - N_A - n_x + p_x) \qquad (7)$$

Comme la masse est électriquement neutre, on a $n_x = n_o$, $p_x = p_o$ et $\rho = o$.

La concentration des porteurs dans la masse du semi-conducteur non dégénéré est donnée par la relation habituelle de Maxwell-Boltzmann. La concentration des électrons (n) dans la bande de conduction et celle des trous (p) dans la bande de valence sont données par les relations

$$n_b = N_c \exp\,[-(E_c - E_F)/kT] \qquad (8)$$

et

$$p_b = N_v \exp\,[-(E_F - E_v)/kT], \qquad (9)$$

dans lesquelles N_c et N_v désignent respectivement la densité disponible des états dans les bandes de conduction et de valence avec les niveaux d'énergie E_c (bord inférieur) et E_v (bord supérieur). En combinant les relations ci-dessus, il est possible de montrer, après certaines approximations, que la densité des électrons (n_s) ou des trous (p_s) à la surface est liée à leur concentration dans la masse et au potentiel U_s, d'inflexion des bandes de la façon suivante:

$$n_s = n_b \exp\,(-e\,U_s/kT) \qquad (10)$$

et

$$p_s = p_b \exp\,(e\,U_s/kT) \qquad (11)$$

dans lesquelles e est la charge électronique. Quand $n_s < n_b$, dans un semi-conducteur de type n, les bandes s'infléchissent vers le haut et donnent lieu à la création d'une couche d'appauvrissement ou d'une couche d'inversion $p_s > n_s$. Si $n_s > n_b$, les bandes d'énergie s'infléchissent vers le bas et donnent lieu à la création d'une couche d'accumulation. Quand enfin $n_s = n_b$ ou $p_s = p_b$, on a $U_s = 0$, ce qui représente la condition de plat des bandes.

Il est possible d'obtenir des données sur la charge d'espace, les états de surface et le potentiel de plat des bandes en mesurant plusieurs propriétés d'interface, tels les photocourants et les photopotentiels, la conductivité superficielle et la capacité différentielle. La mesure de la capacité de la charge d'espace est décrite dans le présent document.

(ii) La charge d'espace et la capacité

Dans un système MKS rationalisé, la charge d'espace est donnée, d'après le théorème de Gauss, par la relation:

$$Q_{sc} = -\varepsilon\varepsilon_o E_s \qquad (12)$$

dans laquelle $$E_s = -\frac{dU(x)}{dx} \quad x = 0 \qquad (13)$$

dans la couche de la charge d'espace, et qu'il est possible d'obtenir par la première et deuxième intégrations de l'équation spéciale de Poisson (Éq. 6) avec les équations 10 et 11, en supposant qu'il y a non-dégénérescence du semi-conducteur et ionisation complète des donneurs et des accepteurs. Les conditions limites sont l'inflexion des bandes, $dU/dx = 0$ dans la masse et $U_x \to U_s$ comme $x \to 0$, x étant un point quelconque de la couche de la charge d'espace. Des renseignements détaillés sur ce sujet peuvent être trouvés dans d'autres travaux (13-15,32). L'expression finale s'écrit:

$$E_s = \pm \left(\frac{2\,kT\,n_i}{\varepsilon\varepsilon_o}\right)^{1/2} F(Y,\lambda) \qquad (14)$$

dans laquelle, $Y = -eU_s/kT$; $U_s = U - U_{fbp}$ (15)

et λ est liée à la concentration des porteurs, des donneurs et des accepteurs (14,15) par la relation

$$\lambda = \left(\frac{p_b}{n_b}\right)^{1/2} = \frac{p_b}{n_i} = \frac{n_i}{n_b} \qquad (16)$$

puisque $n_b \cdot p_b = n_i^2$, où n_i = concentration des porteurs (dans la masse) pour un semi-conducteur intrinsèque, et n_b et p_b sont les concentrations des électrons et des trous dans la masse du semi-conducteur. Dans l'équation 14 on a

$$F(Y,\lambda) = [\lambda.(e^{-Y} - 1) + \lambda^{-1}(e^{Y} - 1) + (\lambda - \lambda^{-1})Y]^{1/2} \qquad (17)$$

La charge d'espace s'écrit donc à l'aide des équations 12 et 13

$$Q_{sc} = \mp \frac{\varepsilon\varepsilon_o\,kT}{e\,L} F(Y,\lambda), \qquad (18)$$

dans laquelle L est la longueur de Debye, s'exprimant:

$$L = \left(\frac{\varepsilon\varepsilon_o\,kT}{2\,e^2\,n_i}\right)^{1/2} \qquad (19)$$

La capacité différentielle de la charge d'espace définie par la relation

$$C_{sc} = (dQ_{sc}/dU_s) \qquad (20)$$

obtenue après différentiation de l'équation 18, s'écrit:

$$C_{sc} = \left(\frac{\varepsilon\varepsilon_o\,n_i e^2}{2kT}\right)^{1/2} \frac{\lambda\,e^{-Y} + \lambda^{-1}\,e^{-Y}(\lambda - \lambda^{-1})}{[\lambda\,(e^{-Y} - 1) + \lambda^{-1}\,(e^{+Y} - 1) + (\lambda - \lambda^{-1})Y]^{1/2}} \qquad (21)$$

Pour un semi-conducteur dont E_g = 1,84 eV, ε = 12,9 et la concentration des donneurs par dopage (n) = 10^{17} cm^{-3}, et en supposant que $n_b = N_D$, la capacité en fonction de Y (-Y = 1 signifie une tension anodique de 0,025 V) est montrée à la figure 3. La variation de C en fonction de Y est débattue ci-après.

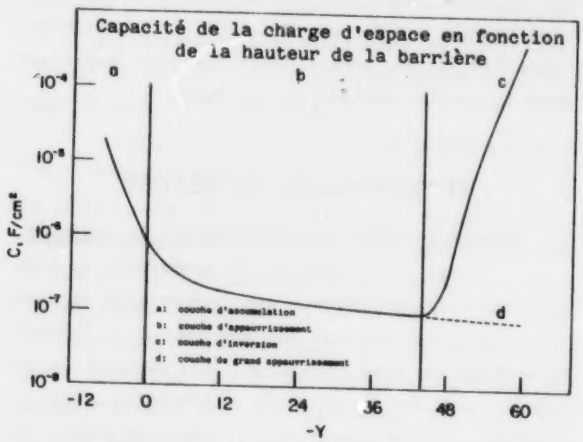


Fig. 3 - Capacité de la charge d'espace en fonction de la hauteur de la barrière

(iii) La capacité des couches d'accumulation, d'inversion et d'appauvrissement

De la condition de neutralité dans la masse $N_A - N_D = p_b - n_b$ et de l'équation 16, il vient:

$$\lambda - \lambda^{-1} = \frac{N_A - N_D}{n_i} \qquad (22)$$

Cela signifie que le terme linéaire en Y du dénominateur du facteur droit de la capacité, dans l'équation 21, représente la contribution des charges fixes (c.-à-d. de la couche d'appauvrissement) et que les termes exponentiels représentent celle des porteurs mobiles. Lorsque le semi-conducteur est intrinsèque, ce terme des équations 21 et 22 est nul, et par suite le semi-conducteur intrinsèque ne peut jamais posséder de couche d'appauvrissement. Pour le cas de la figure 3, on peut constater que la couche d'apauvrissement couvre une gamme de tension importante (1,2 V).

Pour un semi-conducteur dont la bande interdite est de 0,76 eV, comme le Ge, la couche d'appauvrissement existe et couvre une gamme de tension de 0,1 V environ pour une densité de dopants de 10^{16} cm^{-3}.

Lorsque l'inflexion des bandes devient négative (-Y<0), la contribution principale à la capacité est celle des porteurs majoritaires (pour le semi-conducteur de type n de la figure 3, ces porteurs sont des électrons). La capacité est alors donnée par la relation:

$$C_{sc} = \left(\frac{\varepsilon\varepsilon_o \, n_b \, e^2}{2kT} \right)^{1/2} e^{(Y/2)} \qquad (23)$$

La capacité est ainsi liée à la concentration des porteurs majoritaires dans la masse du matériau; il s'agit dans ce cas d'une couche d'accumulation, la région "a" à la figure 3.

Lorsque l'inflexion des bandes (-Y>0) devient suffisamment positive, les facteurs exponentiels associés aux trous dominent dans la relation et celle-ci s'écrit alors:

$$C_{sc} = \left(\frac{\varepsilon\varepsilon_o \, p_b \, e^2}{2kT} \right)^{1/2} e^{(-Y/2)} \qquad (24)$$

La capacité est ainsi liée à la concentration des porteurs minoritaires dans la masse du matériau. Il s'agit ici de la couche d'inversion (région "c" à la figure 3).

Pour les semi-conducteurs à bande interdite étroite, la gamme sur laquelle existe la couche d'appauvrissement est petite. Cela signifie que la capacité minimale où la couche d'appauvrissement devient la couche d'inversion est voisine de la valeur Y = 0 (potentiel de plat des bandes). Pour une bande interdite de 0,76 eV et une concentration de dopants de 5×10^{15} cm^{-3}, cette capacité minimale est environ à 0,071 V du potentiel de plat des bandes, alors que pour une bande interdite de 2 eV et pour la même concentration de dopants, le minimum se situe à 1,4 V du potentiel de plat des bandes. Cette région est la région d'appauvrissement, désignée région "b"

à la figure 3. Pour les semi-conducteurs à bande interdite étroite, il est possible de mesurer le potentiel de plat des bandes en mesurant la capacité, par détermination du point où se situe la capacité minimale. Cette méthode n'est toutefois pas applicable aux semi-conducteurs à bande interdite moyenne ou grande, qui sont les semi-conducteurs habituellement utilisés dans nos travaux. Pour les semi-conducteurs intrinsèques purs, l'équation 21 se réduit à:

$$\lambda = 1;$$

$$C_{sc} = \left(\frac{\varepsilon\varepsilon_o n_i e^2}{2kT}\right)^{1/2} \cdot 2\cosh\left(\frac{Y}{2}\right) \qquad (25)$$

La capacité est symétrique de part et d'autre du potentiel de plat des bandes et le point où se situe son minimum correspond exactement au potentiel de plat des bandes.

(iv) L'approximation de Mott-Schottky

L'approximation de Mott-Schottky consiste à ne tenir compte que de la contribution des charges fixes (couche d'appauvrissement) dans le facteur du membre droit de l'équation 21 et de celle des porteurs majoritaires résiduels (on néglige donc tous les facteurs exponentiels). Si U représente le potentiel d'électrode mesuré par rapport à une électrode de référence, alors $U_s = U - U_{fbp}$ et, à l'aide de l'équation 15, l'équation 21 devient (pour un semi-conducteur de type n, $N_A = 0$ et $N_D = n$)

$$C_{sc} = \left(\frac{\varepsilon\varepsilon_o N_D e}{2}\right)^{1/2} (U - U_{fbp} - kT/e)^{-1/2} \qquad (26)$$

Cette équation peut aussi se réécrire:

$$(1/C_{sc})^2 = (2/(\varepsilon\varepsilon_o N_D e))(U - U_{fbp} - kT/e) \qquad (27)$$

Le graphique de l'inverse du carré de la capacité en fonction de la tension d'électrode mesurée par rapport à SCE permet de déterminer le potentiel U_{fbp}(SCE) (valeur de la droite à l'abscisse) ainsi que la densité des dopants (pente de la droite).

La région de grand appauvrissement montrée à la figure 3 est une configuration non à l'équilibre, pour laquelle il n'y a pas formation de la couche d'inversion et pour laquelle l'équation 27 est valable. Ce point est débattu dans la prochaine section. Les restrictions sur la validité de l'approximation de Mott-Schottky pour les cristaux réels ont été présentées dans d'autres travaux par Cardon, Gomes et leurs collaborateurs (33,34) et seront débattues plus amplement dans la section portant sur le GaAs.

III TECHNIQUES DE MESURE

a) Théorie fondamentale des circuits alternatifs

Dans les conditions de linéarité, la tension sinusoïdale présente aux bornes d'un élément d'un circuit alternatif est associée à un courant sinusoïdal de même fréquence. L'intensité de ce courant est proportionnelle à l'amplitude de la tension. Il y a toutefois, en règle générale, un déphasage entre le courant et la tension.

Les relations linéaires entre les grandeurs sinusoïdales peuvent s'exprimer à l'aide de nombres complexes. Dénotons par $\hat{V}$ une tension complexe. Cette tension est caractérisée par une amplitude (un nombre positif) dénoté V (sans l'accent circonflexe) ainsi que par une phase ψ. La relation mathématique correspondante est:

$$\hat{V} = V(\exp j\psi)(\exp j\omega t) \qquad (28)$$

La partie réelle de $\hat{V}$, c'est-à-dire $V\cos(\omega t + \psi)$ représente la grandeur physique réelle, c'est-à-dire la tension efficace. Dans la relation 28, ω est fréquence angulaire on, t, le temps, et j, l'imaginaire. Dans les conditions de linéarité, le courant $\hat{I}$ est lié à la tension par la relation:

$$\hat{V} = \hat{Z}\,\hat{I} \qquad (29)$$

L'expression mathématique du courant complexe est semblable à celle de la tension complexe. Le nombre complexe $\hat{Z}$ est l'impédance. Son

amplitude est Z et sa phase θ. L'impédance est indépendante du temps de même que de la phase et de l'intensité du courant, de sorte qu'il vient:

$$\hat{Z} = Z\exp j\,\theta \qquad (30)$$

Dans les cellules électrochimiques, les tensions d'amplitude inférieure à 10 mV crête-à-crête garantissent les conditions de linéarité. L'équation 20 peut alors être appliquée à la valeur dérivée de la capacité.

Dans une cellule électrochimique (ou dans tout autre dispositif), il est possible de mesurer la partie alternative du courant et de la tension. Cela est exposé à la section c) ci-après. En bref, il est possible de déterminer les parties en phase et déphasées du courant et de la tension au moyen d'amplificateurs à verrouillage de phase. La phase du courant et de la tension est définie par rapport à un signal de référence. Dénotons par V_{in} la partie en phase et par V_{out} la partie déphasée. Alors, par définition,

$$V_{in} = V\cos\phi;\ V_{out} = V\sin\phi \qquad (31)$$

L'équation 28 peut s'écrire:

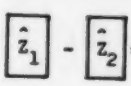
$$\hat{V} = (V\cos\phi + jV\sin\phi)\exp j\omega t$$
$$= (V_{in} + jV_{out})\exp j\omega t \qquad (32)$$

Le courant peut être exprimé de façon semblable. L'exponentielle dépendant du temps des expressions de la tension et du courant peut être omise, l'équation 29 s'appliquant toujours. L'impédance peut par suite aussi être exprimée de façon semblable. La phase de l'impédance représente le déphasage entre le courant et la tension (équation 29). C'est cette impédance qui est la grandeur fondamentale mesurée. Son inverse dénoté $\hat{Y} = 1/\hat{Z}$ est l'admittance. L'équation 29 peut donc s'écrire:

$$\hat{Z} = (V_{in} + j\,V_{out})/(I_{in} + j\,I_{out}) \qquad (33)$$

La capacité différentielle a été définie dans la section antérieure. On peut voir à l'équation 33 que la capacité ne peut jamais être mesurée directement mais qu'elle s'obtient à partir de l'impédance (35). La valeur de la capacité ainsi obtenue dépend de la constitution supposée du schéma équivalent. Il s'agit d'un schéma hypothétique remplaçant les éléments résistants et capacitifs d'une cellule électrochimique par des combinaisons de résistances et de condensateurs. Seules les combinaisons les plus simples seront considérées. L'inductance n'est pas incluse dans cette étude, bien qu'elle soit normalement présente dans les corrections instrumentales.

Lorsque deux impédances sont montées en série, on peut écrire:

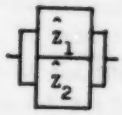


$$\hat{Z}_1 - \hat{Z}_2 = \hat{Z} \qquad (34)$$

Les deux impédances distinctes sont $\hat{Z}_1$ et $\hat{Z}_2$ et l'impédance de la combinaison des deux est $\hat{Z}$. La chute de tension totale est égale à la somme des chutes de tension distinctes aux bornes de chacune des impédances, tandis que l'intensité du courant demeure constante. Nous avons donc:

$$\hat{Z}\,\hat{I} = \hat{Z}_1\hat{I} + Z_2\hat{I} \quad \text{ou}$$
$$\hat{Z} = \hat{Z}_1 + \hat{Z}_2 \qquad (35)$$

Le montage parallèle s'écrit:



$$= \hat{Z} \qquad (36)$$

L'équation 29 peut aussi s'écrire en terme de l'admittance Y = 1/Z, de la façon suivante:

$$\hat{I} = \hat{Y}\,\hat{V} \qquad (37)$$

La tension présente aux bornes de chacun des éléments et aux bornes du montage parallèle est identique. Le courant passant dans l'ensemble du montage est la somme des courants passant dans chacune des impédances. Alors, avec $\hat{Y} = 1/\hat{Z}$, $\hat{Y}_1 = 1/\hat{Z}_1$ et $\hat{Y}_2 = 1/\hat{Z}_2$, nous avons:

$$\hat{Y}\,\hat{V} = \hat{Y}_1\,\hat{V} + \hat{Y}_2\,\hat{V} \qquad \text{ou}$$

$$1/\hat{Z} = 1/\hat{Z}_1 + 1/\hat{Z}_2 \tag{38}$$

La valeur de la capacité a été donnée par l'équation 20. Si V remplace U et en prenant comme expression du courant $I(t) = dQ/dt$ (l'indice inférieur a été omis pour le Q), l'équation 20 s'écrit:

$$I(t) = C\,dV/dt \tag{39}$$

L'indice inférieur de C a été omis puisque l'équation 20 est assez générale et qu'elle s'applique à toute capacité. Pour des signaux sinusoïdaux, le courant et la tension revêtent leur forme complexe et dans ce cas l'équation 39 devient:

$$\hat{I} = j\omega C\,\hat{V} \tag{40}$$

L'équation 29 permet d'écrire pour l'expression de l'impédance associée à un condensateur:

$$\hat{Z}_C = -j/(\omega C) = -jX \tag{41}$$

La grandeur $X = 1/(\omega C)$ est appelée réactance. Pour un condensateur unique présent dans le circuit, le courant est en avance de 90° sur la tension pour toutes les fréquences et son intensité varie linéairement avec la fréquence. C'est ce qui est représenté à la figure 4a. Sur la partie droite de cette figure, on montre un plan (x,y) dont l'axe x positif représente le courant en phase avec la tension et l'axe y positif, le courant en avance de 90° par rapport à la tension. La même convention s'applique à tous les plans (x,y) de la figure 4. L'effet de l'augmentation de la pulsation d'un facteur 2 sur l'intensité du courant est montré par les cercles ouverts (figure 4a). La flèche indique le sens de l'augmentation des fréquences. Cette convention s'applique également à l'ensemble de la figure.

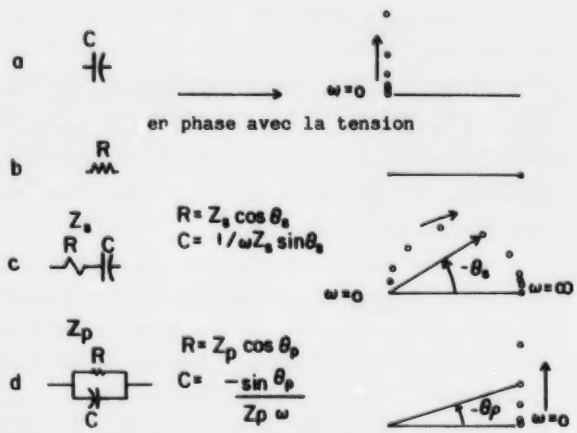


Fig. 4 - Diagrammes d'Argand des circuits alternatifs simples

La loi d'Ohm pour une résistance s'applique également en courant alternatif. L'impédance d'une résistance pure est donc un nombre réel indépendant de la fréquence, et est dénotée R (la résistance). Pour une tension fixe, le courant demeure constant à toutes les fréquences et est toujours en phase avec la tension. C'est ce qu'on montre sur la figure 4b.

La figure 4c représente le montage série d'une résistance (R) et d'un condensateur (C). À partir de la valeur de l'impédance pour une résistance pure et pour celle d'un condensateur (équation 41) et à partir de l'équation 35, il vient:

$$\hat{Z}_S = R - j/(\omega C) \tag{42}$$

L'indice inférieur S signifie qu'il s'agit d'un montage série. La variation de l'intensité du courant en fonction de la fréquence uniquement, à tension, capacité et résistance fixes, est montrée à la partie droite de la figure 4c. L'angle θ_S défini par l'équation 30 est la phase de l'impédance.

Dans la pratique, c'est l'impédance, en termes de son amplitude Z et de sa phase, qu'on mesure. Si la capacité et la résistance doivent être obtenues pour le montage série, on peut alors écrire à l'aide de l'équation 30 et de l'équation 42:

$$R = Z_S \cos \theta_S ; \; C = -1/(\omega Z_S \sin \theta_S) \qquad (43)$$

La figure 4d montre le montage parallèle d'un condensateur (C) et d'une résistance (R). Les équations 38 et 41 permettent d'écrire:

$$\hat{Z}_P = \frac{R}{1 + (RC\omega)^2} - \frac{jR(RC\omega)}{1 + (RC\omega)^2} \qquad (44)$$

L'équation 38 indique que l'admittance du montage est la somme des admittances distinctes; dans ce cas, nous avons aussi:

$$\hat{Y}_P = 1/R + j\omega C \qquad (45)$$

L'admittance associée au condensateur est $j\omega C$ (équations 37 et 41) et celle qui est associée à la résistance est $1/R$. Cette dernière est aussi appelée conductance. La grandeur ωC est appelée susceptance. L'indice inférieur P indique qu'il s'agit d'un montage parallèle. L'amplitude de l'admittance est $1/Z_p$ et sa phase, $-\theta_p$. À partir de la valeur mesurée de l'impédance, Z_p et θ_p, il est possible de calculer la résistance et la capacité équivalentes du montage parallèle à l'aide de la relation:

$$R = Z_p/\cos\theta_p \; ; \; C = -\sin\theta_p/(Z_p\omega) \qquad (46)$$

La comparaison des figures 4c et 4d montre d'importantes différences entre la dépendance sur la fréquence de l'intensité du courant (à tension, résistance et capacité fixes). Aux basses fréquences ($RC\,\omega << 1$), le montage série se comporte presque comme un circuit capacitif pur et le montage parallèle, comme un circuit résistant pur. Aux très grandes fréquences ($RC\,\omega << 1$), la situation est l'inverse. À mesure qu'augmente la fréquence, la phase de l'impédance du montage série passe de presque -90° à 0°, et vice versa pour le montage parallèle. Si l'appareil de mesure permet d'employer une douzaine de fréquences environ dont la progression se fait par octave, il est alors possible de décider lequel de ces deux montages simples constitue la meilleure approximation des deux schémas équivalents de la cellule. Pour des schémas équivalents plus compliqués, il est nécessaire d'employer une gamme quasi continue de fréquences.

b) Schéma équivalent type d'une cellule électrochimique à semi-conducteurs

Le schéma équivalent d'une cellule plongée dans le noir, à électrolyte inerte et à électrode de travail au GaAs de type n, est montré à la figure 5. Cette figure représente les conditions d'une expérience, avec une solution électrolytique 1 M et une contre-électrode dont la superficie (49 cm^2) est beaucoup plus grande que celle de l'électrode de travail (0,5 cm^2 ou moins). Il est supposé que l'électrode de travail peut être polarisée dans une région de grand appauvrissement. Certains points portant sur la région de grand appauvrissement non traités dans la première section seront débattus rapidement ici.

ÉLÉMENT	DÉFINITION	IMPÉDANCE, OHMS
Z_{OHM}	Impédance voltmètre	4×10^6
R_{ct}	Résistance du contact arrière de l'électrode	0,1 à 10
R_f	Résistance faradique	2×10^5
C_{sc}	Couche de la charge d'espace	5×10^3
C_{ss}	États de surface	10^5 θ
C_H	Couche de Helmholtz	10
C_{sg}	Groupe de surface	?
R_{SIN}	Résistance de la masse liquide	20
C_H	Couche Helmholtz (contre-électrode)	0,05
r_f	Résistance faradique (contre-électrode)	*

θ: dans la région de grand appauvrissement

*: c'est presque à l'infini sans les couples oxydo-réducteurs et de l'ordre de 10^3 Ohms avec les couples.

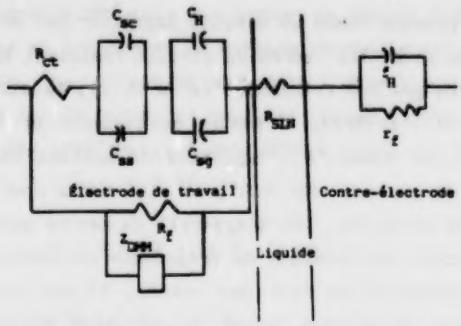


Fig. 5 - Schéma équivalent d'une cellule électrochimique à électrode de travail au GaAs-n, gardée dans le noir et travaillant à 1 KHz

Pour une largeur de bande interdite de 1,5 eV pour le GaAs, à une température de 2 K (36), le nombre de porteurs intrinsèques est donné par la relation (37):

$$n_i = (N_C N_V)^{1/2} \exp-(E_g/2kT) \qquad (47)$$

Le facteur présent devant l'exponentielle représente le nombre d'états par unité de volume, qui est environ $10^{22}/cm^3$. Par suite, à température ambiante, n_i est d'environ 6×10^8. Les équations 8, 9 et 47 permettent d'écrire:

$$n_b p_b = n_i^2 \qquad (48)$$

Par suite, si le nombre d'électrons attribuable aux impuretés des donneurs est environ $\simeq 10^{17}/cm^3$, alors $p_b \simeq 4/cm^3$. Pour une inflexion des bandes de 1 eV, les équations 10 et 11 nous permettent d'écrire $n_s \simeq 0,4/cm^3$ et $p_s \simeq 10^{18}\ cm^3$. De notre analyse de la section précédente, il est assez manifeste que la relation de Mott-Schottky (équation 27) n'est valable que si $n_s, p_s << N_D \simeq n_b$. Dans le cas envisagé ici, $N_A = 0$. Dans des conditions de strict équilibre thermique, l'interface solution électrolytique/GaAs-n devrait donc former une couche d'inversion dans le semi-conducteur. Comme nous le verrons dans le chapitre portant sur le GaAs, il a été constaté à partir des mesures de l'impédance que la relation de Mott-Schottky s'applique toujours à cette région. Cela est attribuable au fait que les trous passent dans la solution (courants faradiques encore relativement faibles). Le grand appauvrissement est une condition de non équilibre (38).

Les fréquences disponibles ne permettant de faire la distinction qu'entre un montage série simple et un montage parallèle simple, il faut s'efforcer de concevoir la cellule de façon à en simplifier le schéma équivalent. Les valeurs présentées à la figure 5 sont celles d'un cas réaliste mais ne sont pas des valeurs générales. Elles sont assez représentatives d'un semi-conducteur comptant environ entre 10^{17} et 10^{18} atomes dopants par cm^3. Un tel semi-conducteur est de qualité photo-électrochimique.

On obtient une autre approximation du schéma équivalent général de la figure 5 de la façon suivante. La capacité mesurée (C_m) de ce schéma est la somme de la capacité de la couche de Helmholtz (C_H) placée en série avec les capacités parallèles de la charge d'espace (C_{sc}) et des états de surface (C_{ss}), de sorte qu'il vient:

$$\frac{1}{C_m} = \frac{1}{C_{sc} + C_{ss}} + \frac{1}{C_H} \qquad (49)$$

Puisque $C_H >> C_{sc}$ (2 ordres de grandeur) et en supposant que le nombre des états de surface rapides est petit, que les états de surface lents ont des temps de relaxation beaucoup plus grands que la période de l'expérience, et enfin que ces temps de relaxation peuvent être réduits au minimum par une préparation soignée de la surface, nous pouvons écrire:

$$\frac{1}{C_m} = \frac{1}{C_{sc}} \qquad (50)$$

Par suite le schéma équivalent de la figure 5 se réduit à un circuit RC parallèle pour lequel $C_m = C_{sc}$. La résistance parallèle est liée au minime transfert de la charge faradique. La résistance faradique doit être aussi élevée que possible puisqu'elle est en parallèle avec la capacité de la couche de la charge d'espace. Cela suppose qu'il faut éviter les couples oxydo-réducteurs dans la solution électrolytique, car ils sont nor-

malement à l'origine du transfert de charge. Si la polarisation est trop anodique (positive), certains effets pourraient faire accroître l'intensité du courant soit par la capture de trop nombreux trous ou par claquage diélectrique (38). On peut constater à l'aide de la figure ($R_f C_{sc} \omega = 40$) et de l'équation 38 (avec $R = R_f$ et $C = C_{sc}$) que la résistance faradique ne contribue que faiblement à l'impédance. La résistance faradique est également maintenue basse si la cellule est gardée dans le noir.

La résistance de la masse de la solution liquide peut être estimée à l'aide d'une électrode de platine, au lieu de l'électrode semi-conductrice, présentant une superficie égale à celle de cette dernière. La mesure se fait à l'aide d'un signal alternatif à la fréquence d'environ 1 kHz et par recours à l'analyse d'un montage série.

La résistance du contact arrière se mesure à l'aide d'une sonde à trois points (figure 6). Le courant continu I est mesuré comme une fonction de la tension continue V, comme il est montré à la figure 6. L'examen du schéma équivalent de mesure montre que l'effet du contact de travail est éliminé. La résistance mesurée est celle de la masse en série avec celle du contact à l'essai. Lorsque la relation du courant en fonction de la tension est linéaire, le contact est dit ohmique et les effets dus à la présence de sa propre couche de charge d'espace (s'il en existe une) peuvent être négligés. La plus faible valeur mentionnée ici a trait à un contact en alliage de Ge-Au placé sur du GaAs-n comptant entre 10^{17} et 10^{18} atomes dopants par cm^3. La résistance est celle d'un échantillon de semi-conducteur d'une épaisseur de 1 mm et une superficie d'environ 0,5 cm^2. Pour des densités de dopants moindres, le contact peut présenter des résistances atteignant 10 Ωcm^2. Les contacts non ohmiques ont des résistances pouvant atteindre plusieurs k Ω.

La capacité des états de surface peut être réduite au minimum par la préparation soignée de la surface, par exemple en la dégraissant, en la polissant et l'attaquant chimiquement. Il peut être montré, à partir de considérations générales, que les densités des états de surface sont négligeables pour les états dont les niveaux d'énergie sont dans la bande de valence (39). Si le niveau de Fermi est ramené en deçà du bord supérieur de la bande de valence (polarisation extrêment positive), l'effet de ces états demeure alors faible. Cela est illustré dans la section pour certaines électrodes au GaAs de type n.

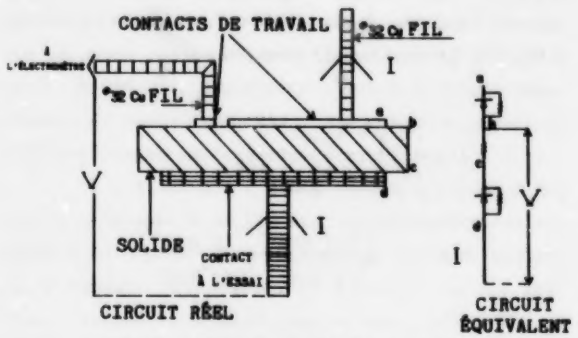


Fig.6 - Circuit sonde à trois points

c) Principes du pont LCR; méthode des cinq bornes

La variation de l'impédance en fonction de la tension est mesurée et la variation de la capacité en fonction de la tension appliquée est obtenue par analyse simple des circuits. Si le modèle Mott-Schottky s'applique, il est alors possible d'obtenir le potentiel de plat des bandes ainsi que le nombre des atomes dopants (équation 27). Pour prendre ces mesures, on superpose un petit signal alternatif, utilisé pour la détermination de l'impédance, à la tension continue appliquée à l'électrode de travail.

Dans le présent travail, on s'est servi d'un système à deux électrodes. La commande du potentiel de l'électrode de travail et sa mesure en comparaison à l'électrode de référence SCE font l'objet d'un débat dans la section consacrée au GaAs. La présente section ne porte que sur les signaux alternatifs.

Le principe du circuit de mesure auquel l'équation 33 peut être appliquée est illustré à la figure 7. Toutes les mesures de signaux alternatifs sont faites à l'aide de deux amplificateurs à verrouillage de phase présentant deux sorties continues. L'une de celles-ci est une tension continue (V_{IN}) proportionnelle à la composante de la tension d'entrée alternative qui est en phase avec

le signal de référence, et l'autre est une tension (V_{OUT}) proportionnelle à la composante de l'entrée qui est en quadrature de phase (en avance de 90°) par rapport au signal de référence. Deux signaux alternatifs sont mesurés: la tension $\hat{V}$ présente aux bornes de la cellule et le courant traversant la cellule, donné par $\hat{V}_R/R$. En termes des grandeurs définies à la figure 7, il est possible d'écrire l'équation 33 sous la forme:

$$Z = \frac{(V_{IN}^2 + V_{OUT}^2)^{1/2}}{(V_{RIN}^2 + V_{ROUT}^2)^{1/2}} \quad R, \text{ et} \qquad (51)$$

$$\tan\theta = \frac{(V_{OUT}V_{RIN} - V_{IN}V_{ROUT})}{(V_{IN}V_{RIN} + V_{OUT}V_{ROUT})} \qquad (52)$$

Les bornes de la figure 7 sont des câbles coaxiaux. Le rôle du blindage (outre le blindage électrostatique) est de réduire à une faible valeur l'inductance mutuelle présente entre les bornes porteuses de courant (dénotées HI CUR et LO CUR à la figure 7) et les bornes de tension (dénotées HI POT et LO POT sur la même figure). Cela est possible car le retour du courant se fait à travers le blindage. Il s'agit là en principe de la méthode à cinq bornes.

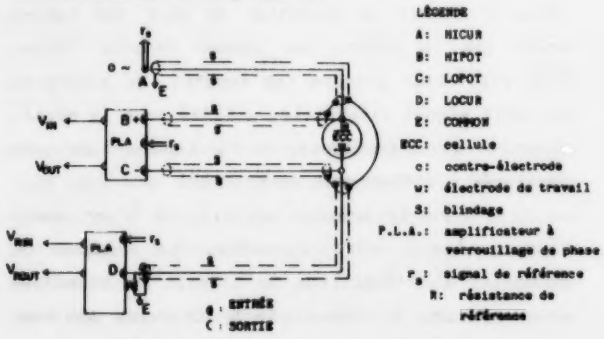


Fig. 7 - Technique à cinq bornes

Cette conception pose dans la pratique deux problèmes. Dans certaines conditions en effet, la résistance de référence R peut dégrader la petite tension alternative appliquée et par suite nuire à la précision de la mesure de l'impédance. De même, il est difficile de réaliser une bonne adaptation entre les deux amplificateurs à verrouillage de phase distincts.

Le pont LCR multifréquence Hewlett-Packard 4274A utilisé pour le présent travail élimine ces deux problèmes. Une caractéristique extrêmement utile du pont est sa capacité de corriger l'inductance mutuelle des sondes ainsi que leurs pertes capacitives. Le pont est doté d'un calculateur et ces corrections sont faites numériquement. L'impédance (équations 51 et 52) est calculée à partir des valeurs numérisées des tensions discutées ci-dessus. Les corrections de l'effet des sondes du voltmètre et de l'impédance d'entrée sont effectuées par le logiciel d'un autre calculateur.

La mesure de la tension (SCE) a été faite à l'aide d'un voltmètre numérique Hewlett-Packard 3478A. Bien que la résistance d'entrée continue était extrêmement élevée (10^4 M Ω), l'appareil présentait une certaine capacité d'entrée. Celle-ci a été mesurée de la façon normale au moyen du pont LCR pour toutes les fréquences de l'expérience. L'impédance mesurée à l'aide du pont LCR a été corrigée numériquement pour qu'il soit tenu compte de la charge que constituait le voltmètre.

Le pont LCR peut fournir, entre l'électrode de travail et la contre-électrode, une polarisation continue commandée par le logiciel du calculateur HP-85, polarisation qui est appliquée par l'entremise d'un bus d'interface IEEE-488. Le voltmètre était aussi doté du même bus et pouvait être commandé par le calculateur externe.

IV MESURES DE LA CAPACITÉ D'ÉLECTRODES DE GaAs DE TYPE N, AVEC LA FACE (1, 1, 1) EN CONTACT AVEC LA SOLUTION

a) La face ($\bar{1}\,\bar{1}\,\bar{1}$) du GaAs

Deux communications ont été publiées sur la mesure de la capacité du GaAs quand sa face ($\bar{1}\,\bar{1}\,\bar{1}$) (côté arsenic) est en contact avec l'électrolyte (40,41). Dans ces études ainsi que dans la mesure de la capacité d'électrodes au GaAs de type n avec la face (100) en contact avec l'électrolyte (42), on a constaté la présence de deux régions assez distinctes dans la courbe de C en fonction de la tension de polarisation U_s. Pour les tensions de polarisation qui amènent le niveau de Fermi à l'intérieur de la bande interdite, la capacité des états de surface est du même ordre

que celle de la couche de la charge d'espace. On a constaté la présence d'effets dans cette région où la capacité dépend à la fois du sens et de la vitesse de la variation de la tension de polarisation. Dans cette région, la relation de Mott-Schottky ne s'appliquait pas. Dans la deuxième région, avec une plus grande polarisation anodique, le potentiel U_s d'inflexion des bandes était suffisamment positif pour amener le niveau de Fermi en deçà du bord supérieur de la bande de valence. Dans cette région, la capacité mesurée ne dépend ni du sens ni de la vitesse de la variation de la tension de polarisation. Cette seconde région tombe dans la région de grand appauvrissement.

Les mesures d'électrodes au GaAs de type n dont la face (1 1 1) (côté gallium) est en contact avec l'électrolyte devraient être d'intérêt car, d'après les résultats d'expériences d'attaque (43), c'est cette face qui est la moins réactive.

b) Matériaux et préparation des électrodes

Le semi-conducteur était du GaAs de type n dopé au Si provenant d'une diode laser et présentant une résistivité se situant entre 0,0049 et 0,0039 Ω cm ainsi qu'une densité de dopage comprise entre 4,4 et 6,3 x 10^{17} cm^{-3}. Le monocristal a été taillé selon le plan (1 1 1).

Pour être en mesure de faire la distinction entre la face (1 1 1) et la face ($\bar{1}$ $\bar{1}$ $\bar{1}$), on a attaqué ces dernières à l'aide d'une solution de H_2SO_4:H_2O_2:H_2O de 3:1:1 à 80°C pendant 2 minutes. La face ($\bar{1}$ $\bar{1}$ $\bar{1}$) était brillante, tandis que la face (1 1 1) était légèrement piquée.

Un film de Au-Ge (88 %-12 %) a été déposé par évaporation sur la face ($\bar{1}$ $\bar{1}$ $\bar{1}$) pour y constituer un contact ohmique. Sa résistance était de 0,05 Ω.

Le cristal (avec le fil soudé au contact au moyen de plomb) a été monté dans un cylindre de Téflon. Les côtés du cristal et son contact ont été scellés dans de la résine époxyde Scotch Cast. Le montage permettait le polissage de la surface une fois la résine durcie. Après polissage au papier abrasif au carborundum n° 600, l'échantillon a été poli au papier émeri 3 µm. Enfin, il a été poli une dernière fois avec de la poudre d'alumine de 0,3 µm et de 0,05 µm, ce qui lui a conféré un fini de miroir.

Deux méthodes d'attaque ont été utilisées avant l'immersion dans l'électrolyte. La première consistait en un rinçage doux au HCL 2 M suivi d'un rinçage au KOH 1 M. La deuxième technique consistait en une attaque photo-électrochimique dans des conditions de court-circuit pendant 45 secondes dans une solution de $(NH_4)_2S$ 1 M à pH 10,6 (NH_4OH). Ces attaques ont été faites séparément et jamais ensemble. Après son attaque, la surface était rincée à l'eau distillée.

L'électrolyte était une solution de K_2SO_4 0,5 M tamponnée à pH 9,2 avec du tétraboratede sodium 0,01 M. Il a été constaté que les tampons au phosphate favorisaient l'oxydation de la surface, et que ce n'était pas le cas des tampons au borate.

c) Méthodes expérimentales

(i) Stabilisation des électrodes avec une contre-électrode réversible

Nous nous sommes servis pour le présent travail d'un système à deux électrodes dans des conditions non potentiostatiques; la source de la tension continue appliquée à l'électrode de travail était la polarisation continue interne du pont LCR. Ce point est discuté plus amplement à l'Annexe I. Dans un tel système, en l'absence d'un couple oxydo-réducteur, les potentiels de repos de l'électrode de travail et de la contre-électrode de platine sont instables et indéfinis, ce qui cause des fluctuations de la tension de la cellule et il faut par suite attendre longtemps avant que l'équilibre ne soit atteint.

D'autre part, la contre-électrode doit aussi agir comme source ou puits stable des petits courants nécessaires à la charge et à la décharge de la charge d'espace dans le semi-conducteur. Cela n'est pas possible en l'absence d'un couple oxydo-réducteur. Par suite, si la contre-électrode de platine est plongée dans un électrolyte contenant environ 10^{-4}-10^{-3} ML^{-1} d'un couple oxydo-réducteur, alors son niveau continu devrait être stabilisé. Cependant, dans l'avant-dernière section, nous avons souligné que les mesures de la

capacité ne peuvent être faites quand l'électrode de travail est en contact avec un couple oxydo-réducteur. Une telle électrode de platine mise en contact avec un couple oxydo-réducteur sera donc par la suite appelée contre-électrode réversible.

Pour pouvoir obtenir une contre-électrode réversible et cependant garder l'électrode de travail sans contact avec le couple oxydo-réducteur, on s'est servi d'une cellule à deux compartiments avec pont de sel et diaphragmes pour séparer ces deux compartiments. L'électrode de calomel saturée a été placée dans le compartiment de l'électrode de travail.

La variation du potentiel de l'électrode de GaAs (SCE) en fonction de la tension de la polarisation pour les contre-électrodes réversible et irréversible est montrée à la figure 8. Le couple oxydo-réducteur utilisé était du ferro-ferricyanure (5×10^{-4} ML^{-1}). Le contrôle de la résistance alternative en parallèle pendant les expériences a indiqué que ce couple oxydo-réducteur ne diffusait pas de façon importante vers le compartiment de l'électrode de travail. Il n'y a pas eu d'hystérésis entre le sens direct et le sens inverse de la polarisation appliquée, dans la méthode modifiée illustrée à la figure 8.

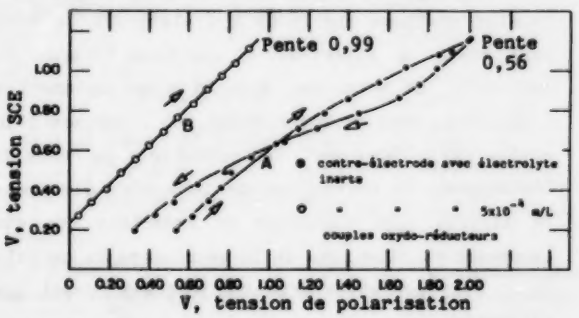


Fig. 8 - Polarisabilité de l'électrode au GaAs-n

Sans le couple oxydo-réducteur, la commande du potentiel de l'électrode de travail laissait extrêmement à désirer. Ces expériences ont été faites pour les deux cas à l'aide de la même électrode de travail, de la même contre-électrode et de la même solution électrolytique (abstraction faite de l'ajout du couple oxydo-réducteur). Dans les deux expériences, on a fait varier la tension de polarisation par incrément de 100 mV, en laissant écouler 10 minutes entre deux incréments.

À la figure 8, le croisement à l'ordonnée à polarisation nulle (valeur extrapolée) concorde à quelques mV près avec le potentiel d'électrode à l'équilibre mesuré par comparaison avec l'électrode SCE. Il n'y a pas agrément de ce type en l'absence du couple oxydo-réducteur. Pour le cas où le couple oxydo-réducteur a été utilisé, la pente est voisine de l'unité, ce qui indique que toute la tension de polarisation continue apparaît aux bornes de l'électrode de travail (GaAs), alors que seulement 56 % de la polarisation apparaissaient aux bornes de l'électrode de travail dans l'autre cas.

Pour prévenir toutes réactions avec l'oxygène dissous, on a fait barboter du N_2 ultra-pur dans la solution électrolytique pendant 15 minutes avant chacune des expériences. On a aussi maintenu l'atmosphère inerte pendant toute la durée de l'expérience en faisant passer de l'azote sur la surface de la solution. Les mesures ont été faites en chambre noire. On s'est servi d'une lampe (Osram) au xénon haute pression de 150 W pour mesurer le potentiel de plat des bandes de l'électrode de travail en suivant la méthode de voltamétrie en photocourant alternatif redressé (méthode RAPV, 44). Dans ce cas, la cellule est dotée d'une fenêtre de quartz optique. Une atmosphère inerte a été maintenue de la façon expliquée précédemment. Le potentiostat utilisé était un potentiostat PAR 173. Un modulateur de lumière (Roffin 7500) produisait un signal de référence qui permettait la détection et l'amplification du photocourant au moyen d'un amplificateur à verrouillage de phase PAR 128A. La sortie de cet amplificateur (photocourant) était tracée en fonction de la tension relative à l'électrode SCE à l'aide d'un enregistreur X-Y Hewlett-Packard 7004B.

On a prévu dans la plupart des expériences une période de repos de 10 minutes pour laisser stabiliser la capacité. (Cette période a été estimée en observant l'allure dans le temps de l'impédance et de la tension mesurées relativement à l'électrode SCE, à polarisation fixe produite au moyen d'une contre-électrode irréversible, et en définissant comme conditions de stabilité que les fluctuations de la tension de l'électrode SCE

ne devaient pas dépasser 2 mV et que les fluctuations de la capacité ne devaient pas dépasser 1 %.) Comme il a été souligné précédemment, le temps de relaxation a été écourté avec la contre-électrode réversible, mais les mêmes temps de repos ont été utilisés afin qu'il soit possible de comparer les deux types de contre-électrode.

Une partie des expériences ont été faites à la main, sans logiciel de commande et sans voltmètre pendant la mesure des impédances, afin d'être en mesure d'évaluer la justesse du logiciel. Il a été constaté que le logiciel (saisie et traitement) était juste. Cette justesse a aussi été établie quand on s'est servi d'un montage de résistances et de condensateurs de précision plutôt que d'une cellule électrochimique.

Des résultats ont été obtenus pour trois échantillons de GaAs dont la face exposée était la face (1 1 1).

d) Résultats et discussion

La capacité de la cellule a été le mieux décrite au moyen du montage parallèle, bien que dans certains cas la capacité série était égale à celle de la capacité parallèle. On montre à la figure 9 le graphique de l'inverse du carré de la capacité en fonction de la tension relative à l'électrode SCE. Dans ce cas, le balayage de tension n'a été fait que de la valeur la moins positive à la valeur la plus positive (ce sens de balayage sera appelé "direct"). La fréquence du signal alternatif était de 1 kHz. La valeur du potentiel fbp, -1,60 V SCE, concordait à 50 mV près à la valeur obtenue au moyen de la méthode RAPV. La même valeur du potentiel fbp a été obtenue pour la face ($\bar{1}\,\bar{1}\,\bar{1}$) (41). Le symbole V_v employé à la figure 9 représente le bord supérieur de la bande de valence. On peut voir sur cette figure que la relation de Mott-Schottky s'applique quand le niveau de Fermi est environ à 260 meV sous le bord supérieur de la bande de valence, ou plus bas. En prenant comme constante diélectrique du GaAs la valeur de 12,9 (45), la densité des donneurs est établie par calcul à 5.8×10^{17} cm^{-3}, ce qui concorde bien avec la valeur fournie par le fabricant. Pour la face ($\bar{1}\,\bar{1}\,\bar{1}$), l'accord est loin d'être aussi bon (40). Pour cette expérience, la surface a été préparée avec la solution de photogravure.

Sont montrés à la figure 10 les résultats d'une expérience menée avec un semi-conducteur dont la surface avait été traitée à l'attaque douce (HCl, KOH). Les deux fréquences de mesure étaient 1 et 10 kHz. Le décalage parallèle vers la valeur négative du potentiel de plat des bandes à la fréquence la plus élevée laisse croire à la présence d'une mince couche de substance étrangère à la surface (32,46), vraisemblablement un oxyde.

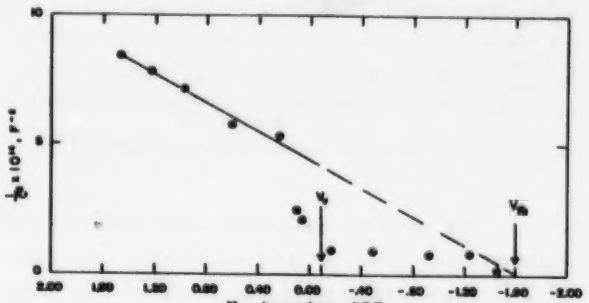


Fig. 9 - Photogravure, alignement unique

Ce décalage en fonction de la fréquence n'apparaît pas pour tous les échantillons. Pour la face ($\bar{1}\,\bar{1}\,\bar{1}$), la dispersion des fréquences a été un changement de la pente sans qu'il se produise toutefois un changement du potentiel de plat des bandes (40). Cela laisse entendre que la relaxation diélectrique, qui est le plus vraisemblablement à l'origine de la dispersion observée des fréquences, se produit dans une couche dont l'épaisseur est égale à celle de la couche de la charge d'espace (46). Un examen au microscope de la surface après la tenue de l'expérience a montré que la surface avait changé d'apparence pendant l'expérience, c'est-à-dire que de brillante elle était devenue mate et rugueuse.

La figure 10 montre également le cycle d'hystérésis du graphique Mott-Schottky obtenu par balayage de tension en sens direct et inverse. Ce cycle d'hystérésis est moins important pour un même échantillon si l'expérience est répétée sans

repolissage et réattaque de la surface, à la même fréquence de balayage en tension. Dans une expérience distincte, il a été de plus constaté que le cycle d'hystérésis ne dépend pas de la fréquence du balayage en tension entre 7 mV/min et 30 mV/min. Les résultats illustrés à la figure 10 correspondent à une fréquence de balayage de 7 mV/min.

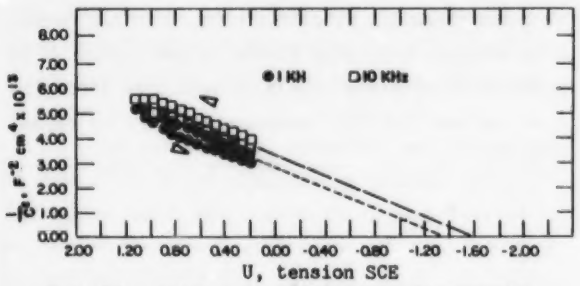


Fig. 10 - Attaque douce, à deux alignements

Le cycle d'hystérésis ainsi observé est distinct du cycle d'hystérésis avec la face ($\bar{1}\ \bar{1}\ \bar{1}$) (face As) observé par d'autres (40) dans une gamme de tension anodique moindre, à un point plus rapproché du potentiel de plat des bandes et bien au-dessus du bord supérieur de la bande de valence (c'est-à-dire non dans la région de grand appauvrissement). Dans nos expériences menées avec la face (1 1 1) (face Ga), le cycle d'hystérésis apparaît dans la région de grand appauvrissement (grande polarisation anodique). De même, pour la face ($\bar{1}\ \bar{1}\ \bar{1}$), le cycle d'hystérésis dépend de la vitesse de balayage. Ainsi le cycle observé dans nos travaux (figure 10), avec la face (1 1 1) dans la région de grand appauvrissement ne peut pas être obtenu avec la face ($\bar{1}\ \bar{1}\ \bar{1}$) (40).

Le potentiel V_{fbp} montré à la figure 10 pour les deux fréquences est la valeur moyenne obtenue du balayage direct et du balayage inverse, comme il a été précisé plus tôt. Le potentiel V_{fbp} obtenu pour le graphique Mott-Schottky en balayage direct seulement est de -1,60 V (électrode SCE).

Le cycle d'hystérésis pour la face (1 1 1) dépend également de l'état de la surface (extrêmement polie, mate ou rendue rugueuse par attaque photochimique). Cela a été mis en évidence au moyen de mesures faites avec des surfaces (1 1 1) polies et attaquées photochimiquement pour les rendre mates. Les résultats obtenus avec deux cycles, un en balayage direct et un en balayage inverse, à 30 mV/min et à 1 kHz, sont montrés à la figure 11. Le cycle dans ce cas n'est que de 2 % comparativement à environ 30 % (figure 10), valeur obtenue pour la même face à laquelle on avait donné un fini de miroir après polissage récent et attaque à la solution douce. Enfin, tandis que la face ($\bar{1}\ \bar{1}\ \bar{1}$) (face As) a donné un fini brillant après l'attaque photochimique, la face (1 1 1) (face Ga) était terne et rugueuse.

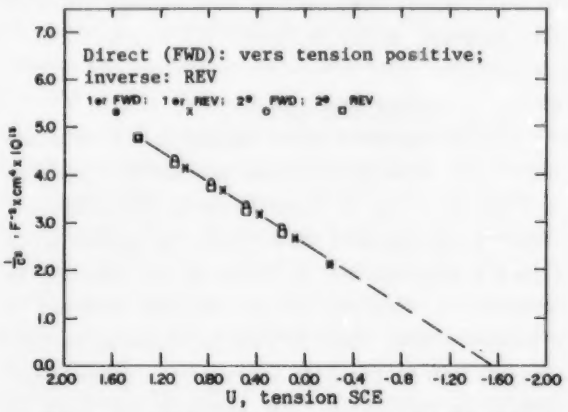


Fig. 11 - Photogravure, à quatre alignements

L'effet de la présence d'oxygène sur le graphique Mott-Schottky pour la face (1 1 1) a aussi été étudié en faisant barbotter de l'oxygène pendant une heure avant la tenue des mesures de l'impédance. La surface apparaissait bleue après le traitement à l'oxygène. Les résultats sont montrés à la figure 12 pour deux fréquences (1 et 10 kHz), avec balayages direct et inverse pour chacune des fréquences. L'hystérésis observée lorsque la surface était préparée par attaque à la

solution douce n'est pas apparue dans ce cas. La dispersion des fréquences ne met en jeu que la pente et est du même ordre de grandeur que celle qui a été observée dans les expériences faites avec la face ($\bar{1}\,\bar{1}\,\bar{1}$) en atmosphère inerte, c'est-à-dire privée d'oxygène (40,41).

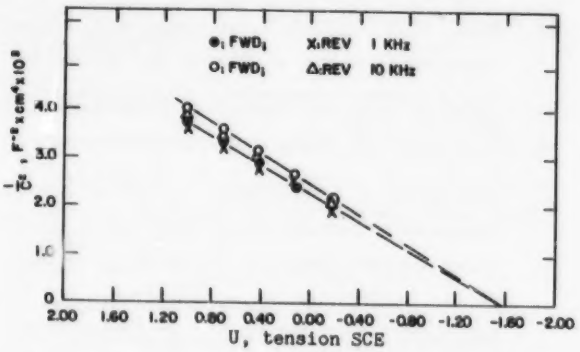


Fig. 12 - Photogravure, barbottage d'oxygène, deux alignements

En conclusion, une face (1 1 1) pure dans la région de grand appauvrissement produit un phénomène d'hystérésis dans les mesures de la capacité. Puisque ce phénomène est absent pour la face ($\bar{1}\,\bar{1}\,\bar{1}$), on peut conclure qu'il représente un changement irréversible se produisant sur la surface de l'électrode, changement qui met en jeu le Ga. L'apparition d'un décalage parallèle dans le graphique Mott-Schottky dans la région de grand appauvrissement montre que ce changement ne se produit qu'à une petite profondeur, comparativement à la largeur de la couche d'appauvrissement (34).

Puisque ce phénomène d'hystérésis apparaît dans la région de grand appauvrissement, les trous peuvent avoir un rôle à jouer dans son apparition. La nature du changement chimique demeure inconnue.

RÉFÉRENCES

1. Ahmed, S.M. "The Canadian contribution to the I.E.A. Work on hydrogen production by photoelectrolysis of water"; Proceedings, Vth World Hydrogen Energy Conference, Toronto, Canada. 15-20 juillet 1984, Ed. T.N. Veziroglu et J.B. Taylor, Pergamon Press, New York, Toronto, Vol. 3, p. 1013.

2. Macdonald, D.D. et McKubre, M.C. "Impedance measurements in electrochemical systems"; in Modern Aspects of Electrochemistry, No. 14, Ed. J.O.M. Bockris, B.E. Conway et R.E. White Plenum, New York, Londres, 1982, Ch. 2, pp. 61-150.

3. Hofmann-Pérez, M. et Gerischer, H. "Zur Frange der Ladungserteilung an der Oberflache von Germanium-Elektroden in Wasserigen Elektrolytlosungen"; Z. Elektrochem 65:771; 1961.

4. Memming, R. "On the interpretation of the impedance of the semiconductor-electrolyte interface"; Philips Res Repts 18:323; 1964.

5. Bohnenkamp, K. et Engell, H.J. "Messungen der Impedanz der Phasengrenze Germanium-Elektrolyt" Z Elektrochem 61:1184; 1957.

6. Gobrecht, H. et Meinhardt, O. "Uber die Impedanz von Halbleiter-Elektrolyt-Grenzflachen"; Berichte Bunsenges Physikalische Chemie 67:151; 1963.

7. Brattain, W.H. et Boddy, P.J. "The interface between germanium and a purified neutral electrolyte"; J Electrochem Soc 109:574; 1962.

8. Boddy, P.J. "Kinetics of anodic dissolution of germanium"; J Electrochem Soc 111:1136; 1964.

9. Memming, R. "On the interpretation of the impedance of the semiconductor - electrolyte interface"; Philips Res Rept 19:323; 1964.

10. Madou, M.J., Cardon, F. et Gomes, W.P. "Impedance measurements at the n- and p-type GaP single crystal electrode"; J Electrochem Soc 124:1623; 1977.

11. Tomkiewicz, M. "Frequency dependence of the impedance of semiconductor electrolyte interfaces" in Semiconductor liquid-junction solar cells, Proceedings of a Conference on the Electrochemistry and Physics of Semiconductor Liquid Interfaces under Illumination, 3-5 mai 1977, Vol. 72-73, Ed. Adam Heller, Electrochem Soc Inc, p. 92.

12. Cooper, G., Turner, J.A. et Nozik, A.J. "Mott-Schottky plots and flatband potentials for single crystal rutile electrodes" Proceedings of the Symposia on Photoelectrochemistry: Fundamental processes and measurement techniques, Vol. 82-83, 1982, Ed. W.L. Wallace, A.J. Nozik, S.K. Deb et R.H. Wilson, Electrochem Soc Inc, N.J., p. 456.

13. Gerischer, H. "Semiconductor electrode reactions" in Advances in Electrochemistry and Electrochemical Engineering, Eds. P. Delahay et C.W. Tobias, Vol. 1, Interscience, New York, 1961, p. 142.

14. Boddy, P.J. "The structure of the semiconductor-electrolyte interface"; J Electroanal Chem 10:199; 1965.

15. Ahmed, S.M. "Electrical double layer at metal oxide-solution interfaces" in Anodic Behaviour of Metals and Semiconductors Series, Vol. 1, Ch. 4; Oxide and Oxide Films. Ed. J.W. Diggle et M. Dekker, New York, 1972; p. 319-517.

16. Nozik, A.J. "Photoelectrochemistry: applications to solar energy conversion"; Ann Rev Phys Chem. 29:189-222; 1978.

17. Memming, R. et Schewandt, G. "Potential and charge distribution at semiconductor electrolyte interfaces"; Angew Chem Internat Edit 6:851; 1967.

18. Memming, R. "Charge transfer processes at semiconductor-electrodes" in Electrochemistry, A series of Advances, Vol. 11, Ch. 1, Ed. A.J. Bard et M. Dekker, New York, 1980:81, p. 2-84.

19. Ahmed, S.M. et Ahmad, A. "Studies of interfacial effects in the photoelectrochemistry of semiconductors", voir actes du colloque de l'ECS, Réf. 12, p. 408.

20. Ahmed, S.M. "Surface and photoelectrochemical studies of semiconducting MoS_2"; Electrochem Acta 27:707; 1982.

21. Bardeen, J. "Surface states and rectification at metal-semiconductor contact"; Phys Rev 71:717; 1947.

22. Shockley, W. et Read, W.T. "Statistics of the recombination of holes and electron"; Phys Rev 87:835; 1952.

23. Brattain, W.H. et Bardeen, J. "Surface properties of germanium"; Bell System Tech J 32:1; 1953.

24. Garrett, C.G.B. et Brittain, W.H. "Physical Theory of semi-conductor surface"; Phys Rev 99:376; 1955.

25. Many A., Goldstein, Y. et Grover, N.B. "Semiconductor Surfaces"; Wiley, New York, 1965.

26. Handler P. "Energy level diagrams for germanium and silicon surfaces"; J Phys Chem Solids 14:1; 1960.

27. Memming, R. et Schwandt, G. "Potential distribution and formation of surface states at the silicon-electrolyte interface"; Surface Sci 5:97; 1966.

28. Brattain, W.H. et Boddy, P.J. "Surface states at germanium-electrolyte interface"; in Proc Intern Conf Phys Semiconductors, Institute of Physics and Physical Society, London, 1962, p. 797.

29. Boddy, P.J. et Brattain, W.H. "Effect of cupric ion on the electrical properties of the germanium-aqueous electrolyte interface"; J Electrochem Soc 109:812; 1962.

30. Memming, R. et Neuman, G. "On the relationship between surface states and radicals at the germanium-electrolyte interface"; Surface Sci 10:1; 1968.

31. Memming, R. et Neuman, G. "Formation of surface states and radicals on Ge-electrodes"; Phys letters 24A:19; 1967.

32. Gerischer, H. "Semiconductor electrochemistry" in Physical Chemistry: An Advanced Treatise, Ed. H. Eyring, D. Henderson et W. Jost, Vol IXA, Academic Press, New York, 1971, p. 463.

33. Cardon, F. et Gomes, W.P. "On the determination of the flat-band potential of a semiconductor in contact with a metal or an electrolyte from the Mott-Schottky plot"; J Phys D, Appl Phys 11:L63; 1978.

34. DeGryse, R., Gomes, W.P., Cardon, F. et Vennik, J. "On the interpretation of Mott Schottky plots determined at semi-conductor/electrolyte systems"; J Electrochem Soc 122:711; 1975.

35. Botos, B. "Designer's guide to: RCL measurements"; Hewlett Packard Publication, 1979.

36. Frederikse, H.P.R. in Physics Vademecum, H.L. Anderson, Ed., AIP, 1981, p. 288.

37. Myamlin, V.A. et Pleskov, Y.V. "Electrochemistry of semi-conductors"; Plenum Press, New York, 1967, p. 9.

38. Morrison, S.R. "Electrochemistry at semiconductor and oxidized metal electrodes"; Plenum Press, New York, 1980, p. 71.

39. Réf. 38, p. 38.

40. Laflère, W.H., Van Meirhaeghe, R.L., Cardon, F. et Gomes, W.P. "On the frequency dependence of the impedance of n- and p-type gallium arsenide electrode"; Surface Sci, 59:401; 1976.

41. Laflère, W.H., Cardon, F. et Gomes, W.P. "On the differential capacitance on the n- and p-type gallium arsenide electrode"; Surface Sci 44:541; 1974.

42. Jamietz, P., Weiche, R., Westfahl, J., Landsberg, R. et Dehmlow, R. "On capacity measurements and the energy distribution of surface states at the electrolyte-GaAs interface"; J Electroanal Chem 106:23; 1980.

43. Shaw, D.W. "Localized GaAs etching with acid hydrogen peroxide solutions"; J Electrochem Soc 128:874; 1981.

44. McCann, J.F. et Pezy, J. "The measurement of flatband potentials of n-type and p-type semiconductors by rectified alternating photocurrent voltammetry"; J Electrochem Soc 128:1735; 1981.

45. "Handbook of semiconductors", Vol. I, North Holland, Amsterdam quoted in Physics Vademecum, Ed. H.L. Anderson, AIP, 1981, p. 294.

46. Dutoit, E.C., Van Meirhaeghe, R.F., Cardon F. et Gomes, W.P. "Investigation on the frequency-dependence of the nearly ideally polarizable semiconductor electrodes CdSe, CdS and TiO_2"; Ber Bunsenges, Phys Chem 79:1206; 1975.

47. Zaks, R. et Lesea, A. "Microprocessor interfacing techniques"; 3e éd., Sybex, 1979, p. 336 et ff.

48. Beech, G. "Successful software for small computers"; John Wiley and Sons, Inc. 1982.

49. Williamson, J.H. "Least squares fitting of a straight line"; Can J Phys 46:1845; 1968.

50. Réf. 38, p. 166 et ff.

ANNEXE I

LOGICIEL DE SAISIE DES DONNÉES ET DE COMMANDE

a) Le bus IEEE-488

Cette interface est conçue spécifiquement pour les appareils de commande et autres dispositifs périphériques situés à faible distance (quelques mètres au plus) de l'ordinateur (47). Elle permet l'envoi d'ordres par l'ordinateur (logiciel) vers un dispositif et la réception des données transmises par ce dispositif. Si plus d'un dispositif sont raccordés à l'aide du bus, l'ordinateur peut demander la réalisation d'une liaison exclusive entre lui et un dispositif particulier, la vitesse de transmission n'étant alors limitée que par le dispositif.

b) Le système à trois électrodes avec logiciel

Le pont LCR peut transformer une valeur à point flottant, emmagasinée dans l'ordinateur HP-85 et transmise par le bus, en une tension de polarisation. Toute lecture de tension (relative à SCE) faite au voltmètre et transmise à l'ordinateur peut par conséquent servir à commander la polarisation pour maintenir la tension (SCE) dans d'étroites limites (± 2 mV). Ce système est dit système à trois électrodes avec logiciel (par opposition à un système à trois électrodes avec potentiostat).

Ce concept est illustré en principe à la figure 13, en langage de description de programmation (langage PDL, 48). L'illustration se passe de commentaires, exception faite de trois points.

La différence (ERROR) entre la tension (SCE) demandée et la tension mesurée, respectivement INPUT et OUTPUT, est classifiée d'après les classes définies par le réseau LIMITS en fonction de la valeur absolue de la différence, entre 1 V et 2 mV (=LIMITS(9)). Il a été constaté que pour éliminer les oscillations rapides de la tension (SCE) lorsque la différence est petite, il fallait appliquer un gain (AMPLIFICATION) supérieure à 1 à la différence pour corriger la polarisation (la polarisation est commandée par la variable SERVO). D'autre part, quand cette différence est grande (de l'ordre de 100 mV ou plus), l'application d'un gain plus grand provoquait l'apparition de suroscillations vers le haut et vers le bas qui

```
PROCEDURE POTENTIOSTAT (REAL VALUE INPUT,PERIOD,
                        REAL VALUE RESULT SERVO,
                        BOOLEAN    RESULT OBEYED);

("THESE ARRAYS FORM THE COMPLIANCE PANEL;THEY ARE INITIALISED
  AND USED AS CONSTANTS THROUGHOUT")
VAR DELAYS(1..8),GAINS(1..8),LIMITS(1..9):ARRAY OF REAL;

        PROCEDURE COMPLY(REAL VALUE ERR,
                         REAL RESULT RETARDATION,AMPLIFICATION);

BEGIN
I:=0;
REPEAT
I:=I+1
UNTIL ERR < = LIMITS(I);
RETARDATION:=DELAYS(I);AMPLIFICATION:=GAINS(I)
END; ("COMPLY")

BEGIN ("THE ACTUAL INSTRUCTIONS TO THE INSTRUMENTS ARE IN ASSEMBLER")
WRITELN(D90 ("SHUT ALL AUTO-CALIBRATIONS;MASK THE DATA READY
             SERVICE REQUEST");

RESET CLOCK;("INTERNAL STOPWATCH")
WHILE CLOCK < = PERIOD DO
  BEGIN
  WRITEFAST(D90 ("INITIATE SAMPLING"); ("SERVICE REQUEST INTERRUPT
                                        ENABLE AND DISABLE STEPS
                                        OMITTED")
  READFAST(D90 OUTPUT; ("CORE TO CORE FORMATTING STEPS OMITTED")
  ERROR:=OUTPUT-INPUT;ERR:=ABS(ERROR); ("ABSOLUTE VALUE")
  OBEYED:=ERR < = LIMITS(9);
  IF NOT OBEYED THEN
       BEGIN
       COMPLY(ERR,RETARDATION,AMPLIFICATION);
       SERVO:=SERVO - AMPLIFICATION*ERROR;
       WRITEFAST(D90 SERVO;
       WAIT(RETARDATION)   ("PREDEFINED PROCEDURE")
       END
  END;

WRITELN(D90 ("CLEAR SERVICE REQUEST MASK;ENABLE AUTO-CALIBRATIONS")

END; ("POTENTIOSTAT")
```

Fig. 13 - Méthode au potentiostat

étaient corrigées lentement par le logiciel. Quand la différence était importante, on a préféré des gains voisins de l'unité. Une fois calculée, la nouvelle variable de la polarisation est transmise au pont LCR. Une fois la polarisation corrigée, il se produit un retard (RETARDATION) puis la procédure est répétée. L'importance de ce retard est prédéfinie (réseau DELAYS) en fonction de l'importance de la différence entre la tension (SCE) demandée et mesurée. Ces valeurs ont été choisies empiriquement pour réduire au minimum les suroscillations vers le haut et vers le bas ainsi que les oscillations de la commande de la tension (SCE). Le procédé est sauté quand le drapeau de conformité OBEYED est placé sur TRUE.

Le deuxième point est de s'assurer que quand la procédure COMPLY est appelée, il y a toujours suffisamment de temps (temps total d'exécution commandé par l'horloge de l'ordinateur, le

chronomètre et la variable PERIOD) pour sortir de la pile de l'unité centrale (CPU) les données associées avec l'appel. Autrement, la pile se remplit, ce qui constitue une erreur fatale de temps d'exécution. Cela n'est pas montré à la figure 13.

Enfin, le troisième point renvoie (PDL: READFAST, WRITEFAST) à un type de transaction de bus (transfert d'établissement de liaison rapide) qui permet de transmettre les données à la vitesse la plus rapide.

Un programme complet d'acquisition de données et de commande s'inspirant de ce principe est illustré à la figure 14. Le programme listé dans l'annexe comporte d'autres procédures qui ne sont pas mentionnées dans les présentes lignes, par souci de simplicité. Ces omissions ne changent toutefois pas la structure de l'algorithme.

Cet algorithme décrit une procédure expérimentale dans laquelle la cellule est maintenue sous commande potentiostatique pendant un certain temps (PERIOD). Les valeurs des tensions relatives à l'électrode SCE (V_SCE) et des impédances (Z et THETA) sont mesurées à trois fréquences (NU) choisies d'avance au moyen du clavier (procédure GET MENU) une fois écoulée la période d'attente. Si la tension mesurée (SCE) n'est pas suffisamment voisine de la valeur demandée, l'algorithme établit un contrôle supplémentaire par le système à trois électrodes avant la prise de la mesure. Pendant la mesure, le système est en fait un système à deux électrodes puisque la polarisation n'est pas altérée.

Comme il s'agit d'un programme automatique, il faut prévoir des vérifications de l'état du système. Cela est symbolisé par la fonction booléenne CHECK_STATUS. Dans le programme réel, ces vérifications d'état sont distribuées.

```
CONSTANT NUMBER_OF_POINTS = 14,CHANCES = 5;

VAR ITEM,STROKE,I,J:INTEGER,
START,STEP,ZO,THETAO,V_SCE0,INPUT,PERIOD,SERVO,LAST_CHANCE:REAL,
ERROR_IN_STATUS,OBEYED:BOOLEAN,
NU(1..3),      (*FREQUENCIES*)
R_DMM(1..3), (*PARALLEL RESISTANCES OF  DMM FOR EACH FREQUENCY*)
C_DMM(1..3), (*PARALLEL CAPACITANCES OF DMM FOR EACH FREQUENCY*)
Z(1..2;1..3;1..NUMBER OF POINTS),(*MODULI OF THE IMPEDANCES*)
THETA(1..2;1..3;1..NUMBER OF POINTS), (*THEIR PHASES*)
V_SCE(1..2;1..3;1..NUMBER_OF_POINTS): (*APPLIED VOLTAGES*)
ARRAY OF REAL;

FUNCTION CHECK_STATUS:BOOLEAN;
FUNCTION GET_PERIOD:REAL;
PROCEDURE GET_SCE(REAL; VARIABLE START,STEP);
PROCEDURE GET_MENU(NU(*),R_DMM(*),C_DMM(*));
PROCEDURE POTENTIOSTAT(REAL VALUE INPUT,PERIOD,
                       REAL VARIABLE VARIABLE SERVO,
                       BOOLEAN VARIABLE OBEYED);


BEGIN

(* INITIAL CHECKS;A.C. LEVEL SET AND CHECKED;EQUILIBRIUM APPLIED
   POTENTIAL MEASURED *)

PERIOD:=GET_PERIOD;LAST_CHANCE:=PERIOD/CHANCES;
GET_MENU(NU,FREQ),R_DMM,C_DMM ; GET_SCE(START,STEP);
SERVO:=0;INPUT:=START;


STR:=0;
REPEAT
   I:=0;STR:=STR+1;
   REPEAT
      POTENTIOSTAT(INPUT,PERIOD,SERVO,OBEYED)
      ITEM:=0;
      REPEAT
         IF NOT OBEYED THEN
                        BEGIN
                        J:=0;
                        REPEAT
                           POTENTIOSTAT(INPUT,LAST_CHANCE,SERVO,OBEYED)
                           ERROR_IN_STATUS:=CHECK_STATUS;J:=J+1;
                        UNTIL OBEYED OR J=CHANCES OR ERROR_IN_STATUS
                        END;


      IF NOT ERROR_IN_STATUS THEN

         BEGIN
         ITEM:=ITEM+1;
         WRITEFAST(LCR)NU(ITEM);
         WRITEFAST(LCR,DMM ("INITIATE SAMPLING");
         READFAST(LCR)ZO,THETAO;READFAST(DMM)V_SCE0;
         I:=I+1;
         Z(STR,ITEM,I):=ZO;THETA(STR,ITEM,I):=THETAO;V_SCE(STR,ITEM,I):=V_SCE0;
         ERROR_IN_STATUS:=CHECK_STATUS
         ENDIF

      UNTIL ERROR_IN_STATUS OR ITEM=3;

   INPUT:=INPUT + STEP
   UNTIL ERROR_IN_STATUS OR I=NUMBER_OF_POINTS;

STEP := -STEP
UNTIL ERROR_IN_STATUS OR STR=2;

(*INTERRUPT ALL INTERFACE ACTIVITIES*)
(*RETURN COMPUTER TO NORMAL*)
IF NOT ERROR_IN_STATUS THEN
   BEGIN
   (*PUT DATA ARRAYS IN A DATA FILE;PRINT THEM ON PAPER*)
   END
   ELSE
   BEGIN (*PRINT STATUS DIAGNOSTICS*)ENDIF
END.
```

Fig. 14 - Système à trois électrodes avec logiciel: programme principal (PDL)

a)

```
ITEM:=0;
REPEAT
  ITEM:=ITEM + 1;STR:=0;WRITELN(LCR)NU(ITEM);
  REPEAT
    STR:=STR + 1;I:=0; TALLY:= 0.0;
    REPEAT
      I:=I + 1;
      IF I = 1 THEN
          BEGIN
          ACQUIRE(I,THETA,V_SCE,CLOCK#3,TIMEOUT);
          VERNIER_PULSE(TIMEOUT,SERVO) END
          ELSE
          BEGIN
          WHILE CLOCK#3 < = SAMPLING_PERIOD DO
            BEGIN
            RST CLOCK#2;
            WHILE CLOCK#2 < = RAMP_PERIOD DO;
            SERVO:=SERVO + STEP;
            WRITEFAST(LCR) SERVO
          END
      ENDIF;
      ACQUIRE(I,THETA,V_SCE,CLOCK#3,TIMEOUT);
      VERNIER_PULSE(TIMEOUT,SERVO);
      ERROR_IN_STATUS:=CHECK_STATUS
      UNTIL ERROR_IN_STATUS OR I = NUMBER_OF_POINTS;

    STEP:= -STEP
    UNTIL ERROR_IN_STATUS OR STR = 2;

IF NOT ERROR_IN_STATUS THEN (*PRINT DATA ON TAPE;PRINT DATA ON PAPER*)
UNTIL ERROR_IN_STATUS OR ITEM = 3;

IF ERROR_IN_STATUS THEN (*PRINT DIAGNOSTICS*)

END.
```

b)

```
PROCEDURE VERNIER_PULSE(REAL VALUE TIMEOUT,REAL VALUE RESULT SERVO);

(*GLOBAL INPUTS:TALLY AND EXECUTION_TIME (REFERS TO THIS PROCEDURE)*)

VAR CORRECTION,TEMP:INTEGER,FRACTION:REAL;

BEGIN

CORRECTION:= TIMEOUT DIV RAMP_PERIOD; (*INTEGER DIVISION*)
FRACTION:= TIMEOUT - CORRECTION*RAMP_PERIOD;
FRACTION:= FRACTION + TALLY + EXECUTION_TIME / RAMP_PERIOD;
TEMP:= FRACTION DIV RAMP_PERIOD;
CORRECTION:= CORRECTION + TEMP;FRACTION:= CORRECTION*RAMP_PERIOD;
TALLY:= TIMEOUT - FRACTION;
SERVO:= SERVO + STEP*FRACTION;
WRITEFAST(LCR) SERVO

END; (*VERNIER_PULSE*)
```

Fig. 15 - Système à deux électrodes (PDL)

a) Programme principal, boucles principales et sous-programme final

b) Impulsion en rampe intercalée

c) Le système à deux électrodes

Les boucles de saisie principales sont montrées à la figure 15a. La procédure ACQUIRE prend les mesures des diverses grandeurs d'intérêt comme il a été décrit ci-dessus. Elle (ce qui diffère de ce qui précède) règle aussi l'horloge d'échantillonnage (CLOCK #3) sur la période d'échantillonnage calculée d'avance à partir des entrées du clavier (non illustré). La procédure mesure également son temps d'exécution (TIME-OUT), par accès à l'horloge pilote de l'ordinateur. Cela aussi diffère de ce qui a été décrit ci-dessus. Ce temps est variable parce que les fluctuations de la cellule ont un effet sur la durée d'équilibrage du pont LCR. La variation de la tension de polarisation est une rampe triangulaire appliquée uniquement si la procédure ACQUIRE n'est pas appelée. Pour préserver la linéarité de la variation de la polarisation en fonction du temps, une impulsion de correction est envoyée après l'appel de la procédure par la procédure VERNIER_PULSE (figure 15b). Quand la procédure ACQUIRE n'est pas appelée, la polarisation est incrémentée (incrément direct, STR=1) ou décrémentée (incrément inverse, STR=2) d'une valeur de 1 mV (STEP) après une période égale à la RAMP_PERIOD. Cette période est égale à 1,5 ou 3 secondes, et est entrée au moyen du clavier. Ces valeurs sont des valeurs nominales et sont corrigées pour tenir compte des retards produits soit dans l'interface ou dans l'interprète.

d) Le système à deux électrodes et le système à trois électrodes avec logiciel: avantages et inconvients

Le temps de relaxation est déterminé par observation avant l'emploi de l'une ou l'autre des méthodes de mesure. Pour les cellules de lente relaxation, un système ordinaire à deux électrodes ne permettrait pas de contrôler la tension relative à la tension SCE et, aux fins de l'analyse numérique, il faudrait mesurer l'impédance dans

le sens direct et le sens inverse de la variation de la tension pour un même ensemble de valeurs de tensions SCE. Par suite, pour ces cellules, il est préférable d'employer le système à trois électrodes avec logiciel. Toutefois, pour les cellules qui sont de très lente relaxation, ce système avec logiciel ne permet pas d'obtenir ces deux ensembles identiques de tension (SCE). Cela parce que le système se transforme en système à deux électrodes pendant la mesure. Enfin pour les cellules de relaxation rapide, le système à deux électrodes est préférable puisqu'il est possible d'obtenir un plus grand nombre de points de données par unité de temps.

e) Traitement des données

La régression de la relation Mott-Schottky (équation 27) se fait à l'aide de l'algorithme de Williamson (49). Cet algorithme permet une certaine erreur pour les axes x et y et traite les deux variables de la même façon statistique. Les erreurs expérimentales sont estimées par l'un ou l'autre des programmes de saisie des données. Cela est fait pour l'analyse parallèle simple et l'analyse série simple ainsi que pour chacune des fréquences utilisées.

L'analyse de polarisation des tensions (SCE) en fonction des tensions de polarisation prévue dans les programmes d'acquisition est aussi effectuée par le même algorithme. Cette analyse prévient de la présence de conditions anormales pour l'électrode de travail, tels les fuites, les effets excessifs de relaxation et l'établissement du niveau de Fermi dans des pièges profonds (50).

L'analyse des impédances peut être corrigée pour qu'il soit tenu compte de la résistance de contact et de la masse de la solution ainsi que de la présence d'une mince couche d'impureté superficielle dont la capacité est indépendante de la tension (34).

Enfin, grâce à l'emploi d'une imprimante-traceur Hewlett-Packard 7470A et d'un bus IEEE-488, il est possible de tracer les graphiques Mott-Schottky à l'aide du programme.

ANNEXE II

NOTES SUR LE LANGAGE BASIC DE HEWLETT-PACKARD

NOTES SUR LE LANGAGE BASIC DE HEWLETT-PACKARD

a) Éléments n'appartenant pas au code ANSI

La présente annexe donne quelques renseignements sur les éléments n'appartenant pas au code ANSI du dialecte BASIC utilisé dans le présent travail, pour faciliter la compréhension de l'ensemble du code.

b) Lignes multi-instructions

En langage BASIC ANSI, chacune des instructions est affectée d'un numéro de ligne. Dans le dialecte utilisé pour le présent travail, il est possible d'assigner plusieurs instructions au même numéro de ligne. Le caractère @ est utilisé comme séparateur d'instructions dans la ligne.

c) Entrée/sortie

À l'instruction PDL WRITTELN (périphérique) correspond l'instruction OUTPUT périphérique; qui génère un caractère de retour de curseur et de changement de ligne. Le périphérique est l'un des appareils externes dont l'accès est spécifié par un nombre entier de la forme 700 + adresse primaire. L'adresse primaire du pont LCR est 17 et celle du voltmètre est 23. Pour les autres périphériques (écran TRC, imprimante interne et cassette), les expressions correspondantes sont DISP;, PRINT; et PRINT# (numéro du tampon);. Aucun caractère de retour de curseur et de changement de ligne n'est généré pour la cassette. Une autre variante de cette instruction est OUTPUT USING (numéro de ligne);. Le numéro de ligne renvoie à une instruction de formattage des caractères (IMAGE). De façon semblable, à l'instruction PDL READLN (périphérique) correspond l'instruction ENTER périphérique;.

d) Périphériques symboliques et entrée/sortie rapide

L'instruction PDL WRITEFAST (périphérique) n'est pas exécutée directement, mais par l'entremise d'un périphérique symbolique de la RAM. Le périphérique est créé par l'introduction d'une variable caractère définie comme étant une chaîne de caractères présentant des registres vides et pleins avec l'instruction IOBUFFER. La première étape est de recourir à l'instruction OUTPUT périphérique; où le périphérique est le nom de la variable caractère. La deuxième étape est d'écrire le périphérique symbolique sur le périphérique réel à l'aide d'une instruction de la forme: TRANSFER périphérique symbolique TO périphérique réel FHS. Il est possible de contrôler la valeur des registres vides et pleins sans transaction de périphérique symbolique. Ainsi, l'instruction CONTROL périphérique symbolique 0;1,0 a pour effet de vider le périphérique de tous les caractères. Cela est nécessaire avant certaines opérations d'écriture dans un périphérique symbolique. De façon semblable, l'instruction PDL READFAST (périphérique) s'énonce: TRANSFER périphérique réel TO périphérique symbolique FHS, suivi de ENTER périphérique symbolique;.

e) Interruptions vectorisées

Ces interruptions sont générées par des instructions de la forme ON condition GOTO numéro de ligne ou ON condition GOSUB numéro de ligne. Elles sont invalidées par l'instruction OFF condition.

Les conditions font appel à des mots-clés qui sont assez explicites. L'interruption vectorisée est mise en oeuvre après détection uniquement après exécution de la ligne sur laquelle elle est présente.

L'instruction PDL CLOCK s'écrit TIMER# numéro de l'horloge, période d'horloge. Les instructions TIMEOUT renvoient à l'horloge d'interface. L'unité de temps pour les deux types est la milliseconde. L'instruction KEY renvoie aux touches du clavier réservées utilisées dans les programmes pilotés par menu.

f) Interruption de demande de prise en charge

Le bus IEEE-488 est doté d'une ligne spéciale appelée ligne de demande de prise en charge (SRQ). Cette ligne est commandée par les périphériques du bus. Lorsqu'un des périphériques détecte une condition interne qui est inhabituelle, il peut valider cette ligne. La valeur de la ligne est stockée dans le registre SRQ de l'in-

terface (lu par l'instruction STATUS 7,1;S, où S est la valeur). La valeur de vérité de la ligne SRQ peut servir à générer une interruption vectorisée dont la condition est écrite INTR 7 si l'ordinateur est validé pour lui répondre avec l'instruction ENABLE INTR 7;8.

Une condition inhabituelle peut être lue directement du périphérique avec la fonction prédéfinie SPOLL, en se servant comme argument du numéro du périphérique défini ci-dessus. La condition inhabituelle peut être ou ne pas être la cause de la validation de la ligne SRQ par le périphérique. Selon le périphérique, certaines conditions doivent être masquées pour que la ligne SRQ puisse être validée lorsque cette condition existe. La fin de la saisie d'une donnée par le périphérique en est un exemple.

g) Codes de périphérique

Les ordres (opérandes de l'instruction OUTPUT périphérique;) sont l'un des codes opérationnels à trois octets qui permettent la commande des réglages. Le réglage de la polarisation en continu (périphérique: pont LCR) est de la forme: "BI$^{\pm}$d.ddE$^{\pm}$ddV", où d est un nombre. Les opérandes entre les codes opérationnels "BI" et "V" correspondent à la valeur désirée de la polarisation continue. La valeur réelle est la même à 1 % près. Cela correspond en PDL à la variable SERVO.

h) L'instruction TRIGGER

L'ordre de commencer l'échantillonnage s'écrit TRIGGER (liste de périphériques). Le code opérationnel approprié (à un octet) est généré automatiquement. Il n'y a donc pas d'opérande à la droite de la liste des périphériques.

ANNEXE III

LISTAGES BASIC

LOGICIEL DE SAISIE DES DONNÉES ET DE COMMANDE

DOCUMENTATION INTERNE

SYSTÈME À TROIS ÉLECTRODES AVEC LOGICIEL

```
1000 ! ADMITTANCES&CAPACITANCES
1010 ! HI RESOLUTION (LCR)
1020 ! PRODUCTION UNIT
1030 ! INTERNAL DOCUMENTATION
1040 ! FOR PROG Z0 ONLY
1050 ! FILE:Z0d
1060 ! UPDATED MAY 10/84
1070 ! RANDOMIZING MENU FREQU-
1080 ! ENCIES
1090 ! NEEDS 32K RAM
1100 ! LARGE STEPS
1110 ! SOFTWARE POTENTIOSTAT
1120 ! RELAXES THE CELL BEFORE
1130 ! EACH ACQUISITION
1140 ! MEASURES Urev AND ITS
1150 ! STANDARD DEVIATION
1160 ! (5 SAMPLINGS) BEFORE
1170 ! THE RUN
1180 ! THE STANDARD DEVIATIONS
1190 ! ARE BASED ON THE VARIA-
1200 ! TIONS BETWEEN THE FOR-
1210 ! WARD AND REVERSE STROKES
1220 ! THERE ARE THEREFORE A
1230 ! CLASS NUMBER OF STD.
1240 ! DEV.'S PER MEASURED
1250 ! PARAMETER
1260 ! WITH HP#4274 LCR METER
1270 ! AND HP#3478A DMM
1280 ! FOLLOWED BY TAPE STORAGE
1290 ! OF THE DATA
1300 ! >FOR ELECTROLYTIC CELLS<
1310 ! SOME KEYBOARD INPUTS FOR
1320 ! DATA USED BY THE PROCES-
1330 ! SOR WILL BE ASKED
1340 ! AFTER THE CHOICE OF THE
1350 ! FREQUENCY MENU,THE USER
1360 ! IS INVITED TO INPUT
1370 ! A PERMUTATION OF 1,2,3
1380 ! (INCLUDING REPETITONS)
1390 ! THIS WILL HAVE THIS EF-
1400 ! FECT OF ALTERING THE
1410 ! SEQUENCE OF THE FREQUEN-
1420 ! CIES AND/OR OF INTRODU-
1430 ! DING REPETITIONS
1440 ! THIS FEATURE CAN BE TUR-
1450 ! NED OFF OR ON BY SETTING
1460 ! OR CLEARING FLAG R5 AT
1470 ! THE START OF MAIN
1480 ! ##########################
1490 ! JEAN LEDUC/CANMET/MSL
1500 ! ##########################
1510 !
1520 REM TIMERS
1530 !       IN MAIN
1540 ! #1:IN SR ACQUIRE
1550 ! WHICH CALLS THE FOLLO-
1560 ! WING SR'S WHERE THIS
1570 ! TIMER IS USED:
1580 ! START_METERS,GET_Urev &
1590 ! POTENTIOSTAT
1600 !    WILL DECLARE MTA
1610 !    ACKNOWLEDGE TIMEOUT
1620 !    PRIOR TO ORDERING
1630 !    THE GROUP EXECUTE
1640 !    TRIGGER COMMAND.
1650 !    THIS IS A FATAL RUN
1660 !    TIME ERROR:THE PRO-
1670 !    GRAM IS TERMINATED
1680 ! #3:POTENTIOSTAT OPERA-
1690 !    TING PERIOD
1700 !      SUBROUTINES
1710 !      ALL PROGRAM:
1720 !      TIMEOUT 7
1730 ! INTERFACE TIMER:GIVES
1740 ! TOTAL PROTECTION AGAINST
1750 ! CRASHES DUE TO BUS HANG-
1760 ! UPS FOR FORMATTED I/O
1770 ! AND FIRST HANDSHAKE PRO-
1780 ! TECTION AGAINST SAME FOR
1790 ! UNFORMATTED I/O
1800 ! (HP-85 vs LCR & DMM)
1810 ! THESE TIMEOUTS ARE FATAL
1820 ! RUN TIME ERRORS:THE PRO-
1830 ! GRAM TERMINATES
1840 ! THERE IS AN EXCEPTION:
1850 ! IN SR CHECK_DC,THE SE-
1860 ! COND TIMEOUT INDICATES
1870 ! THAT THE OPERATOR HAS
1880 ! TO PUT THE DC BIAS
1890 ! IN ITS PROPER POSITION.
1900 ! A WARNING IS ISSUED AND
1910 ! UPON RECTIFICATION,THE
1920 ! PROGRAM RESUMES.
1930 ! >>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>
1940 REM END TIMERS
1950 ! <<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<
1960 REM END-OF-LINE BRANCHES
1970 ! REQUEST FOR SERVICE
1980 ! INTERRUPT (BYTE 8)
1990 ! THIS CAN MEAN EITHER
2000 ! DATA READY (SERIAL POLL
2010 ! BYTE 65) OR MALFUNCTION
2020 ! IN THE LATTER CASE,THE
2030 ! PROGRAM IS TERMINATED
2040 !
2050 ! THE ERROR BRANCH
2060 ! IN MAIN,AT THE START,
2070 ! A HARDWARE SELF TEST IS
2080 ! MADE OF THE INTERFACE.
2090 ! FAILURE OF THE TEST IS
2100 ! A FATAL RUN TIME ERROR
2110 ! AND TERMINATES THE PRO-
2120 ! GRAM
2130 ! ALSO CONTINUES TO MONI-
2140 ! TOR THIS SITUATION
2150 ! THROUGHOUT THE PROGRAM
2160 !
2170 ! IN MAIN (ACQUIRE BLOCK),
2180 ! CHECKS THE ALIGNMENT OF
2190 ! THE I/O BUFFER AGAINST
2200 ! METERS FORMAT SPECS
2210 REM It was found that
2220 ! pick-up could severely
2230 ! mangle the throughput
2240 ! to the I/O buffer from
2250 ! the LCR meter ASCII
2260 ! queues
2270 REM An identical test is
2280 ! made when the LCR meter
2290 ! monitor ASCII queue is
2300 ! accessed by means of
2310 ! string logic (SR GET_AC)
2320 ! In SR GET_STATS,both LCR
2330 ! meter ASCII queues are
2340 ! accessed,and an iden-
2350 ! tical test is made
2360 ! This holds for the DMM
2370 ! ASCII queue as well.
2380 ! IF THIS MISALIGNMENT
2390 ! OCCURS,THIS IS A FATAL
2400 ! RUN TIME ERROR AND THE
2410 ! PROGRAM IS TERMINATED
2420 !
2430 ! ERROR BRANCH IN TAPE
2440 ! HANDLERS:
2450 ! SR GET_FILE_NAME
2460 ! THAT BRANCH ALLOWS
2470 ! RECOVERY FROM TAPE
2480 ! ERRORS SUCH AS:
2490 ! NO CASSETTE,IDENTIFIER
2500 ! CONFLICT,TAPE FULL,etc
2510 ! SR GET_TAPE:HERE A TAPE
2520 ! ERROR IS A FATAL RUN TI-
2530 ! ME ERROR AND THE PROGRAM
```

```
2540 ! IS TERMINATED
2550 ! ◄◄◄◄◄◄◄◄◄◄◄◄◄◄◄◄◄◄◄◄◄◄◄◄
2560 REM END END-OF-LINE
2570 ! $$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$
2580 REM TAPE THROUGHPUT
2590 ! A FILE NAME IS ASKED AS
2600 ! AS KBD INPUT.THIS FILE
2610 ! NAME WILL BE THE IDENTI-
2620 ! FIER OF THE OUPUT FILE
2630 ! THE FILE HAS 3 LOGICAL
2640 ! RECORDS OF 1432 BYTES
2650 ! EACH;THIS CORRESPONDS
2660 ! TO 6 PRU'S.
2670 ! THIS GIVES A TOTAL OF 18
2680 ! PRU'S (4296 BYTES)
2690 REM FOR THE FORMAT DETAIL,
2700 REM SEE THE CODE IN FILE
2710 REM Z8
2720 ! $$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$
2730 REM END TAPE THROUGHPUT
2740 ! !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
2750 REM  VARS
2760 ! F9$:  OUTPUT FILE NAME
2770 ! U8,U9:REVERSIBLE POTEN-
2780 ! TIAL AND ITS STANDARD
2790 ! DEVIATION,RESPECTIVELY,
2800 ! IN VOLT
2810 ! S9:    INTERSAMPLING
2820 !        PERIOD,min
2830 ! D9:    SAME AS ABOVE,mS
2840 ! D7:    FRACTIONAL PERIOD
2850 !        OF POTENTIOSTATIC
2860 !        RELAXATION BEFORE
2870 !        ACQUISITION IF
2880 !        COMPLIANCE FLAG
2890 !        IS FALSE,mSEC
2900 !        D7:=D9/D4
2910 ! U4,U5:START & FINAL SCE
2920 !        VOLTS,RESPECTIVELY
2930 ! D0:    SIGNUM OF (U5-U4)
2940 ! U6:    SCE VOLT INCREMENT
2950 REM      POTENTIOSTAT
2960 !  COMPLIANCE PANEL
2970 REM THE FOLLOWING THREE
2980 !   CONSTANTS ARE [1:9]
2990 !   ARRAYS OF LONG REAL
3000 ! V3: VOLTAGE TOLERANCES,
3010 !     VOLT
3020 ! F5: GAINS
3030 ! P3: RETARDATIONS,mSEC
3040 DATA 1,.5,.25,.1,.05,.02,.0
     1, 005,.002
3050 FOR I=1 TO 9
3060 READ V3(I)
3070 NEXT I
3080 DATA 1.002,1.004,1.008,1.01
     6,1.032,1.064,1.128,1.128,1
     .05
3090 FOR I=1 TO 9
3100 READ F5(I)
3110 NEXT I
3120 DATA 200,400,800,1600,2000,
     2000,2000,2000,250
3130 FOR I=1 TO 9
3140 READ P3(I)
3150 NEXT I
3160 ! REM END PANEL
3170 ! U1:    DC BIAS (WE-CE)
3180 ! U0:    DEMANDED SCE VOLT
3190 ! D8:    INPUT VARIABLE:
3200 !        OPERATING PERIOD,
3210 !        mSEC
3220 ! U3:    Usce (MONITORED)
3230 ! D:     ERROR BETWEEN
3240 !        MONITORED & DEMAN-
3250 !        DED Usce
3260 ! V:     ITS ABSOLUTE VALUE
3270 ! C9:    COMPLIANCE FLAG:
3280 !        TRUE IF V LESS
3290 !        MINIMUM TOLERANCE
3300 !        (V3(9),see BELOW)
3310 ! P2:    RETARDATION CHO-
3320 !        SEN BY SR COMPLI-
3330 !        ANCE
3340 ! F6:    GAIN CHOSEN BY SR
3350 !        COMPLIANCE
3360 ! D5:    REMAINING OPERA-
3370 !        TING PERIOD AFTER
3380 !        EXECUTION OF SR
3390 !        COMPLIANCE
3400 REM SR COMPLIANCE CALLED
3410 !   FOR A FALSE COMPLIANCE
3420 !   FLAG
3430 ! I:RUNNING INTEGER
3440 REM  END POTENTIOSTAT
3450 ! U7,V: SCRATCH VARS
3460 ! I9:    STROKE COUNTER:1,2
3470 ! I8:    SAMPLING COUNTER:
3480 !        1,N8 (SEE CONS-
3490 !        TANSTS BELOW)
3500 ! F9:    MENU COUNTER:1,3
3510 ! I3:    1-3 FOR FORWARD,
3520 !        4-6 FOR REVERSE
3530 !        STROKE
3540 REM *(I3,I8):[1:6;1:14]
3550 !   ARRAYS OF LONG REAL
3560 !   *(F9,I8):[1:3;1:14]
3570 !   ARRAYS OF LONG REAL
3580 ! V5(I3,I8):
3590 ! V6(F9,I8):
3600 ! STD. DEV.'S OF ABOVE
3610 ! DC BIASES
3620 ! U(I3,I8):
3630 ! MEASURED SCE VOLTS
3640 ! B5:TEMPORARY STORAGE OF
3650 ! ONE COMPONENT OF ABOVE
3660 ! S0(F9,I8):
3670 ! STD. DEV.'S OF ABOVE
3680 ! Z(I3,I8):
3690 ! MODULI OF THE IMPEDAN-
3700 ! CES,Ω
3710 ! Z2:TEMPORARY STORAGE OF
3720 ! ONE COMPONENT OF ABOVE
3730 ! Z0(F9,I8):
3740 ! STD. DEV.'S OF ABOVE
3750 ! O(I3,I8):
3760 ! PHASES OF THE IMPEDAN-
3770 ! CES,deg
3780 ! O2:TEMPORARY STORAGE OF
3790 ! ONE COMPONENT OF ABOVE
3800 ! O0(F9,I8):
3810 ! STD. DEV.'S OF ABOVE
3820 ! U$,V$,Z$:I/O BUFFERS
3830 ! S9$,S8$,F$:SETTINGS
3840 !              VARS
3850 ! V0:    AC VLT,mV;R.M.S.
3860 ! I8$:   ASCII VALUE OF
3870 !        AC OSCILLATOR
3880 !        LEVEL MULTIPLIER;
3890 !        OUTPUTTED BY SR
3900 !        GET_AC AND USED
3910 !        AS (PARTIAL) INPUT
3920 !        BY SR ECHO
3930 ! C0,G0:PARALLEL COR-
3940 !        RECTIONS FOR DMM
3950 !        LOADING
3960 !        C0:CAPACITANCE,nF;
3970 !        G0:CONDUCTANCE,nS
3980 !        BOTH:[1:3]ARRAYS
3990 !        OF LONG REAL
4000 ! F:     MENU VECTOR:
4010 !        [1:3] ARRAY OF
4020 !        INTEGER
```

```
4030 ! O5:    MENU ORDERING VEC-
4040 !        TOR;[1:3] ARRAY
4050 !        OF INTEGER
4060 ! F0:    ACTUAL FREQUENCIES
4070 !        CORRESPONDING TO
4080 !        THE MENU VECTOR,
4090 !        KHz.
4100 !        [1:3] ARRAY OF
4110 !        LONG REAL
4120 ! S:     INTERFACE AND/OR
4130 !        LCR METER REGISTER
4140 !        DECIMAL VALUE
4150 ! V1     DMM REGISTER,DECI-
4160 !        MAL VALUE.
4170 ! E1,C,E0:FLAGS
4180 REM END VARS
4190 ! !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
4200 REM CONSTANTS
4210 ! C1,G1:PARALLEL CORREC-
4220 ! FOR DMM COAX LOADING;
4230 ! C1:CAPACITANCE,nF
4240 ! G1:CONDUCTANCE,nS
4250 LET C1=.148
4260 LET G1=0
4270 LET N8=14 ! THIS IS THE
4280 ! NUMBER OF CLASSES OR
4290 ! POINTS PER STROKE
4300 LET Q=65 ! DATA RDY BYTE
4310 !          BOTH FOR THE
4320 !          DMM & LCR ME-
4330 !          TER:SERIAL RE-
4340 !          GISTER MASKED
4350 LET V7=1 ! SIMILAR FOR THE
4360 !          DMM,BUT WITH
4370 !          UNMASKED SERI-
4380 !          AL POLL REGIS-
4390 !          TER
4400 LET H1=360 ! FORMATTED I/O
4410 !            TIMEOUT,mSEC
4420 LET H2=50 ! UNFORMATTED
4430 !           I/OTIMEOUT,
4440 !           mSEC
4450 LET H3=260 ! GROUP EXECUTE
4460 !            TRIGGER
4470 !            MTA ACKNOW-
4480 !            LEDGE
4490 !            TIMEOUT,mSEC
4500 LET H4=600 ! DMM SELF-TEST
4510 !            TIMEOUT,mSEC
4520 LET D4=5 ! See definition
4530 !          above
4540 REM END CONSTANTS
4550 ! !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
```

DOCUMENTATION INTERNE: SOUS-PROGRAMMES
SYSTÈMES À DEUX ET À TROIS ÉLECTRODES

Note: Contient aussi la documentation pour les sous-programmes du système à deux électrodes. Dossier ZΘ: système à trois électrodes avec logiciel: Dossier Zδ': système à deux électrodes.

```
1000 ! ADMITTANCES&CAPACITANCES
1010 ! SUBROUTINE DOCUMENTA-
1020 ! TION FOR PROG Z8* & Z0
1030 ! FREQUENCY MENU
1040 ! SHUFFLE (FLAG R5=0)
1050 ! FILE:Z*SR
1060 ! UPDATED MAY 11/84
1070 REM FOR FURTHER DOCUMEN-
1080 ! TATION,SEE FILES Z8d &
1090 ! Z0d
1100 ! THE SUBROUTINES MARKED
1110 ! WITH A P REFER ONLY TO
1120 ! PROG Z0,THOSE MARKED
1130 ! WITH A R,TO PROG Z8*
1140 ! ONLY.THE UNMARKED SUB-
1150 ! ROUTINES ARE EITHER
1160 ! COMMON TO BOTH PROGS
1170 ! OR ACCOMPLISH SIMILAR
1180 ! TASKS
1190 ! **************************
1200 ! JEAN LEDUC/CANMET/EMR/MSL
1210 ! **************************
1220 DEFAULT OFF
1230 ! !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
1240 CLEAR @ DISP USING 1250 ;
1250 IMAGE "ADMITTANCES&SR&CAPAC
     ITANCES"
1260 DISP USING 1270 ;
1270 IMAGE "INTERNAL DOCUMENTATI
     ON",/,"OF THE SUBROUTINES",
     2/
1280 DISP USING 1290 ;
1290 IMAGE /,"FOR LISTING ONLY"
1300 DISP USING 1310 ;
1310 IMAGE 3/,3X,"FULL SYSTEM IM
     PLEMENTATION"
1320 IMAGE /5X,"FILES Z8* & Z0"
1330 DISP USING 1320 ;
1340 END
1350 !
1360 ! SUBROUTINES
1370 !
1380 ! SUBROUTINE START_METERS
1390 ! TRIGGERS BOTH METERS;
1400 ! CHECKS FOR MTA ACKNOW-
1410 ! DGE TIMEOUT;ENABLES
1420 ! THE DATA RDY BYTE INTER-
1430 ! RUPT
1440 ! FOR PROG Z8* ONLY:
1450 ! STARTS THE CLOCK FOR THE
1460 ! VERNIER PULSE CORRECTION
1470 RETURN
1480 END ! START_METERS
1490 !
1500 ! SUBROUTINE READ_&_CHECK
1510 ! UPON RECEIPT OF THE DATA
1520 ! RDY INTERRUPT FROM THE
1530 ! LCR METER,THIS SR READS
1540 ! IN THE DATA INTO AN I/O
1550 ! BUFFER AND CHECKS THE
1560 ! THROUGHPUT WITH RESPECT
1570 ! TO THE LCR METER SPECS;
1580 ! IT THEN (IF ALL IS WELL)
1590 ! FORMATS THE CONTENTS OF
1600 ! THE I/O BUFFER INTO NU-
1610 ! MERIC VARIABLES
1620 ! CALLS SR PULL_SCE (SEE
1630 ! BELOW)
1640 ! FOR PROG Z8* ONLY:
1650 ! CHECKS TO SEE IF /Z/
1660 ! FALLS BELOW THE CORRO-
1670 ! SION LIMIT.IF IT DOES
1680 ! IT FORCES AN ABORT VIA
1690 ! ITS ERROR FLAG
1700 RETURN
1710 END ! READ_&_CHECK
1720 !
1730 ! SUBROUTINE PULL_SCE
1740 ! SIMILAR TO ABOVE,FOR DMM
1750 RETURN
1760 END ! PULL_SCE
1770 !
1780 ! SUBROUTINE VERNIER_PULSE
1790 ! CASE A:PROG Z8*:
1800 ! MEASURES THE ACQUISITION
1810 ! TIME (INCLUDING HP-85
1820 ! TRANSACTIONS IN SR'S
1830 ! START_METER &
1840 ! READ_&_CHECK;COMPENSATES
1850 ! FOR THE RAMP TIMEOUT
1860 ! BY SENDING A CORRECTION
1870 ! PULSE TO THE DC BIAS
1880 ! DAC BEFORE RETURNING TO
1890 ! THE MAIN RAMP LOOP
1900 ! CASE B:PROG Z0
1910 ! IF THE COMPLIANCE FLAG
1920 ! IS TRUE,NOTHING HAPPENS;
1930 ! OTHERWISE,IT GIVES A TI-
1940 ! ME OF POTENTIOSTATIC
1950 ! RELAXATION TO THE CELL
1960 ! FOR A FRACTION OF THE
1970 ! INTERSAMPLING PERIOD
1980 RETURN
1990 END ! VERNIER_PULSE
2000 !
2010 ! SUBROUTINE GET_FREQUENCY
2020 ! WITH SOFT KEY ENTRY,GETS
2030 ! THE FREQUENCY MENU
2040 ! OUT:F,F0,C0,G0
2050 RETURN
2060 END ! GET_FREQUENCY
2070 !
2080 ! SUBROUTINE CHOOSE_ORDER
2090 ! INPUTS THE ORDER VECTOR
2100 ! (A PERMUTATION OF 1,2,3
2110 ! ,INCLUDING REPETITONS)
2120 ! AND PERMUTES ALL THE
2130 ! QUANTITIES ASSOCIATED
2140 ! WITH THE FREQUENCY MENU
2150 ! CAN BE DISABLED BY
2160 ! CLEARING FLAG R5 IN THE
2170 ! CODE
2180 RETURN
2190 END ! CHOOSE_ORDER
2200 !
2210 ! SUBROUTINE CHECK_DC
2220 ! MAKES THE SELF TEST ON
2230 ! THE DMM
2240 ! WARNS THE OPERATOR IF
2250 ! THE LCR METER DC BIAS
2260 ! SWITCH IS NOT IN THE
2270 ! PROPER POSITION.
2280 ! RECTIFICATION IS
2290 ! DEMANDED BEFORE THE PRO-
2300 ! GRAM IS ALLOWED TO
2310 ! RESUME
2320 ! OUT:E1:ABORT FLAG:SET
2330 ! ON TIMEOUT 7 IN CANCEL-
2340 ! LATION OF THE SERVICE
2350 ! REQUEST DATA READY BYTE
2360 RETURN
2370 END ! CHECK_DC
2380 !
2390 ! SUBROUTINE GET_AC
2400 ! WARNS THE OPERATOR IF
2410 ! THE AC VOLTAGE LEVEL IS
2420 ! BEYOND THE BOUNDS OF A
2430 ! PROPER ELECTROCHEMICAL
2440 ! PROTOCOL;DEMANDS RECTI-
2450 ! FICATION BEFORE THE PRO-
2460 ! GRAM IS ALLOWED TO RESUME
2470 ! OUT:V0,I8$
2480 !
2490 ! E1:ABORT FLAG:SET ON TI-
```

```
2500 ! MEOUT 7,BUS GARBLE OR
2510 ! DIGITAL OVERFLOW IN THE
2520 ! MONITOR ASCII QUEUE
2530 RETURN
2540 END ! GET_AC
2550 !
2560 !       %R%
2570 ! SUBROUTINE SET_VOLTS
2580 ! THE PURPOSE OF THIS SUB-
2590 ! ROUTINE IS TO AVOID MO-
2600 ! VING THE CELL TOO RAPI-
2610 ! DLY FROM Usce=Urev TO
2620 ! THE DESIRED START SCAN
2630 ! VOLT
2640 ! A RAMP CONTROLLED BY
2650 ! THE OPERATOR GETS THE
2660 ! FROM Urev TO Ustart
2670 ! (SCE) AS GENTLY AS NEE-
2680 ! DED
2690 ! A RAMP RATE AS LOW AS
2700 ! 1 mV/S IS AVAILABLE
2710 ! ALSO PERFORMS DMM SELF-
2720 ! TEST
2730 RETURN
2740 END ! SET_VOLTS
2750 !
2760 ! SUBROUTINE GET_STATS
2770 ! CASE A PROG Z&*:
2780 ! TAKES 10 SAMPLES OF THE
2790 ! COMPLEX IMPEDANCES&Usce
2800 ! & COMPUTES THE STANDARD
2810 ! DEVIATIONS OF /Z/ AND θ
2820 ! KEEPS WATCH ON THE
2830 ! STATUS FLAGS OF BOTH
2840 ! ASCII QUEUES
2850 ! OUT:Z0,O0,S0,U8,U9
2860 ! E1:ERROR HALF NIBBLE
2870 ! 1:NO ERROR;2:MALFUNCTION
2880 ! SERVICE REQUEST;3:BUS
2890 ! GARBLE,TIMEOUT 7 OR
2900 ! GROUP EXECUTE TRIGGER
2910 ! MTA ACKNOWLEDGE TIMEOUT;
2920 ! 4:KEY$8 ABORT
2930 ! IS EXECUTED BEFORE
2940 ! THE REST OF THE ACQUI-
2950 ! SITION
2960 ! CASE B PROG Z0:
2970 ! COMPUTES FOR EACH CLASS
2980 ! A STANDARD DEVIATION
2990 ! BASED ON THE VARIATION
3000 ! BETWEEN FORWARD AND
3010 ! REVERSE STROKES
3020 ! THIS FOR Vbias,Usce
3030 ! (MEASURED),/Z/ AND θ
3040 ! EXECUTES LAST ACQUISI-
3050 ! TION
3060 RETURN
3070 END ! GET_STATS
3080 !
3090 ! SUBROUTINE SET_SAMPLES
3100 ! CASE A PROG Z&*:
3110 ! COMPUTES THE NUMBER OF
3120 ! SAMPLE POINTS,THE SAM-
3130 ! PLING PERIOD AND MAKES
3140 ! CONGRUENT WITH THE LATTE
3150 ! THE SECOND END POINT (DC
3160 ! VOLT,BIAS MONITOR)
3170 ! IN:V (FROM SR GET_AC);
3180 ! OUT:U0:HERE=U2-U1 (U2 IS
3190 ! ALREADY CONGRUENT WITH
3200 ! THE SAMPLING PERIOD);
3210 ! U5,S9,D0,D
3220 REM As to D,it has the
3230 ! sign of D0
3240 ! CASE B PROG Z0:
3250 ! THE NUMBER OF POINTS IS
3260 ! FIXED.
3270 ! THE INITIAL AND FINAL
3280 ! DESIRED VALUES OF Usce
3290 ! ARE INPUTTED FROM THE
3300 ! KEYBOARD.IF THEIR
3310 ! ABSOLUTE DIFFERENCE IS
3320 ! LESS THAN 5%AC LEVEL,
3330 ! NEW KEYBOARD INPUT IS
3340 ! REQUESTED.
3350 ! MAKES THE FINAL Usce
3360 ! CONGRUENT WITH THE
3370 ! NUMBER OF POINTS
3380 ! OUT:U4,U5,U6,D0
3390 RETURN
3400 END ! SET_SAMPLES
3410 !
3420 ! SUBROUTINE ECHO
3430 ! CHECKS THE INTERNAL
3440 ! SETTINGS BYTE AND COM-
3450 ! PARE WITH THE DESIRED
3460 ! ONES;TERMINATES THE PRO-
3470 ! GRAM IN CASE OF A DIS-
3480 ! CREPANCY (E1=1,ABORT
3490 ! FLAG,TIMEOUT 7)
3500 ! IN:S9$,S8$,I8$,F$
3510 REM ONLY LCR METER
3520 RETURN
3530 END ! ECHO
3540 !
3550 ! SUBROUTINE EXPLAIN_SRQ
3560 ! IN CASE OF A SERVICE
3570 ! REQUEST FOR OTHER THAN
3580 ! THE DATA READY BYTE:
3590 ! DISPLAY OF THE SERIAL
3600 ! POLL BEFORE TERMINATION
3610 RETURN
3620 END ! EXPLAIN_SRQ
3630 !
3640 ! SUBROUTINE GET_FILE_NAME
3650 ! ASKS THE OPERATOR FOR
3660 ! FILE NAME.
3670 ! CHECKS THE CATALOGUE AND
3680 ! REJECTS THE NAME
3690 ! IF INCLUDED IN DIRECTORY
3700 ! A NEW NAME MUST BE
3710 ! ENTERED FOR THE PROGRAM
3720 ! TO RESUME
3730 ! FOR FILE SPECS,SEE FILE
3740 ! Z0d OR Z&d
3750 RETURN
3760 END ! GET_FILE_NAME
3770 !
3780 ! SUBROUTINE GET_TAPE
3790 ! PRINTS ON TAPE THE DATA
3800 ! FOR PROCESSING.1 FILE
3810 ! RECORD PER MENU ITEM
3820 ! ERRORS HERE ARE NOT
3830 ! RECOVERABLE
3840 ! OUT:E1 ERROR BIT;SET
3850 ! SET FOR ABORT
3860 RETURN
3870 END ! GET_TAPE
3880 !
3890 ! SUBROUTINE EXPLAIN_ERROR
3900 ! THIS SUBROUTINE WILL
3910 ! DISPLAY THE ERROR CODES
3920 ! (INCLUDING THOSE OF THE
3930 !  INTERFACE AND ROM IF
3940 !  NEED BE) AND THE LINE
3950 !  NUMBER AT WHICH THE
3960 !  ERROR OCCURRED):
3970 !  GENERAL END_OF_LINE
3980 !  BRANCH OUTSIDE OF
3990 !  ACQUIRE BLOCK IN THE
4000 !  MENU LOOP;THIS BRAN-
4010 !  DOES NOT INVOLVE MIS-
4020 !  ALIGNED I/O BUFFERS
4030 RETURN
```

```
4040 END ! EXPLAIN_ERROR
4050 !
4060 !          %R%
4070 ! SUBROUTINE WAIT_A_WHILE
4080 ! PURPOSE:TO OVERCOME
4090 ! THE 26 MINUTES LIMIT
4100 ! OF THE 'WAIT' FUNCTION
4110 ! IN:W0,W5,D7
4120 RETURN
4130 END ! WAIT_A_WHILE
4140 !
4150 !          %R%
4160 ! SUBROUTINE GET_RELAXED
4170 ! DOES AN UPSTROKE-DOWN-
4180 ! STROKE WITHOUT ACQUISI-
4190 ! TION BEFORE ACQUISITION
4200 ! PURPOSE:TO ACQUIRE
4210 ! EQUILIBRIUM DURING
4220 ! ACQUISITION
4230 ! NUMBER OF THOSE PASSES
4240 ! ('CONDITIONNING PASSES')
4250 ! ASKED FOR AS WELL AS
4260 ! TOTAL NUMBER OF THOSE
4270 ! PASSES (v.g. IN A RE-
4280 ! LAXATION PROTOCOL).
4290 ! OUT:P8,P9
4300 RETURN
4310 END ! GET_RELAXED
4320 !
4330 ! SUBROUTINE MULT_IT
4340 ! WITH NUMERIC INPUTS
4350 ! 1,2, OR 3 GIVEN BY
4360 ! A KEY,PUTS THE AC
4370 ! OSCILLATOR MULTIPLIER
4380 ! AT .01,.1 OR 1
4390 ! CALLED BY SR GET_AC
4400 RETURN
4410 END ! MULT_IT
4420 !
4430 ! SUBROUTINE .01
4440 ! SETS THE INPUT OF SR
4450 ! MULT_IT (SEE ABOVE) AT
4460 ! 1 AND CALLS THE LATTER
4470 ! SR
4480 RETURN
4490 END ! .01
4500 !
4510 ! SUBROUTINE .1
4520 ! SIMILAR TO SR .01;INPUT
4530 ! OF SR MULT_IT SET AT 2
4540 RETURN
4550 END ! .1
4560 !
4570 ! SUBROUTINE 1
4580 ! SIMILAR TO SR .01;INPUT
4590 ! OF SR MULT_IT SET AT 3
4600 RETURN
4610 END ! 1
4620 !
4630 !          %R%
4640 ! SUBROUTINE GET_RATE
4650 ! ALLOWS USER (WITH KEYS)
4660 ! TO CHOOSE EITHER A FAST
4670 ! (37 mV/min) OR SLOW
4680 ! (19 mV/min) SCAN RATE
4690 RETURN
4700 END ! GET_RATE
4710 !
4720 ! SUBROUTINE SHOW_DATA
4730 ! SHOWS ON CRT DATA AS
4740 ! THEY ARE ACQUIRED,EX-
4750 ! CLUSIVE OF THE DC
4760 ! BIASES
4770 RETURN
4780 END ! SHOW_DATA
4790 !
4800 ! SUBROUTINE PRINT_DATA
4810 ! CASE A PROG Z6%:
4820 ! PRINTS ON PAPER AFTER
4830 ! COMPLETION OF EACH ME-
4840 ! NU ITEM IN COLUMNS
4850 ! (STROKE BY STROKE) PT.
4860 ! #,Usce,/Z/,8
4870 ! CASE B PROG Z8:
4880 ! AFTER COMPLETE ACQUISI-
4890 ! TION,EACH MENU ITEM
4900 ! HAS A PRINTING AS IN
4910 ! THE ABOVE,FOLLOWED BY
4920 ! A PRINTING OF THE STD.
4930 ! DEV.'S OF THOSE QUANTI-
4940 ! TIES,FOLLOWED BY A FULL
4950 ! PRINTING OF THE BIASES
4960 ! AND THEIR OWN STD.
4970 ! DEV'S.
4980 RETURN
4990 END ! PRINT_DATA
5000 !
5010 !          %P%
5020 ! SUBROUTINE ACQUIRE
5030 ! CALLING SUBROUTINE;
5040 ! CALLS SR START_METERS,
5050 ! READ_&_CHECK,ECHO &
5060 ! SET_FREQUENCY
5070 RETURN
5080 END ! ACQUIRE
5090 !
5100 !          %P%
5110 ! SUBROUTINE SET_FREQUENCY
5120 ! SETS THE LCR METER AT
5130 ! EACH OF THE THREE MENU
5140 ! FREQUENCIES BEFORE
5150 ! ACQUISITION
5160 ! OUTPUT:F$
5170 RETURN
5180 END ! SET_FREQUENCY
5190 !
5200 !          %P%
5210 ! SUBROUTINE POTENTIOSTAT
5220 ! PLAYS THE ROLE OF A
5230 ! LOW COMPLIANCE,SMALL
5240 ! BAND PASS (10 Hz)
5250 ! SEQUENTIAL POTENTIOSTAT
5260 ! SETS THE COMPLIANCE
5270 ! FLAG TO FALSE IF MINI-
5280 ! MUM TOLERANCE BETWEEN
5290 ! MEASURED AND DEMANDED
5300 ! Usce NOT ACHIEVED
5310 ! IN:D8
5320 ! IN-OUT:U0,U1
5330 ! OUT:C9
5340 RETURN
5350 END ! POTENTIOSTAT
5360 !
5370 !          %P%
5380 ! SUBROUTINE COMPLY
5390 ! CALLED BY SR POTENTIO-
5400 ! STAT
5410 ! ADJUSTS THE GAIN &
5420 ! RETARDATION ACCORDING
5430 ! TO THE ABSOLUTE ERROR
5440 ! BETWEEN  DEMANDED AND
5450 ! MEASURED Usce
5460 ! OUT:P2,F6
5470 RETURN
5480 END ! COMPLY
5500 !          %P%
5510 ! SUBROUTINE GET_Urev
5520 ! WITH ZERO DC BIAS,
5530 ! TAKES 5 SAMPLINGS IN
5540 ! SUCCESSION OF Usce,
5550 ! TAKES AVERAGE AND STD.
5560 ! DEV. (EQUILIBRIUM
5570 ! POTENTIAL)
5580 ! OUT:U9,U8
5590 RETURN
5600 END ! GET_Urev
```

CODE
SYSTÈME À TROIS ÉLECTRODES AVEC LOGICIEL

PROGRAMME PRINCIPAL

```
1000 ! ADMITTANCES&CAPACITANCES
1005 ! HI RESOLUTION (LCR)
1010 ! FILE Z8 ----FULL SYSTEM
1015 ! REVISED MAY 4/84
1020 ! POTENTIOSTATIC CONTROL
1025 ! RELAXATION BEFORE EACH
1030 ! ACQUISITION AT STEADY
1035 ! VOLT SCE
1040 ! PRODUCTION UNIT:
1045 REM FOR FURTHER DOCUMEN-
1050 ! TATION,SEE FILE Z8d
1055 ! ##########################
1060 ! JEAN LEDUC/CANMET/EMR/MSL
1065 ! ##########################
1070 DEFAULT OFF
1075 OPTION BASE 1
1080 SHORT V3(9),P3(9),F5(9),D7,
     S9,H1,H2,H3,H4,V0,V,D9,F6,D
     ,P2,U1,U0,U3,D8,U4,U5,U6,D5
1085 REAL U7,R,U8,U9,Z2,O2,B5,C1
     ,G1
1090 INTEGER O5(3),F(3),I9,S,I8,
     Q,N8,F9,E1,C,R5,E0,V1,S7,V7
     ,D0,I,I3,C9,D4,I4
1095 DIM Z(6,14),Z0(3,14),O(6,14
     ),O0(3,14),U(6,14),S0(3,14)
     ,V5(6,14),F0(3),C0(3),G0(3)
1100 DIM V6(3,14)
1105 DIM V$[19],U$[21],Z$[42],S8
     $[9],S9$[13],F$[2],S7$[25],
     I8$[1]
1110 DIM F9$[5]
1115 IOBUFFER V$
1120 IOBUFFER U$
1125 IOBUFFER Z$
1130 ! !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
1135 ! BEGIN MAIN
1140 CLEAR @ DISP USING 1305 ;
1145 IF ERRØM=0 THEN 1165
1150 DISP USING 1155 ;
1155 IMAGE "I/O ROM ERROR",/,"@@
     @ABORT@@@"
1160 GOTO 2150
1165 ON ERROR GOTO 1180
1170 RESET 7
1175 OFF ERROR @ GOTO 1195
1180 OFF ERROR @ DISP USING 1185
      ; @ GOTO 2150
1185 IMAGE "INTERFACE FAILS SELF
      DIAGNOSIS",/,"@@@ABORT@@@"
1190 ENABLE KBD 33
1195 N8=14 @ Q=65 @ V7=1 @ H1=36
     0 @ H2=50 @ H3=260 @ H4=600
1200 DATA 1,.5,.25,.1,.05,.02,.0
     1,.005,.002
1205 FOR I=1 TO 9
1210 READ V3(I)
1215 NEXT I
1220 DATA 1.002,1.004,1.008,1.01
     6,1.032,1.064,1.128,1.128,1
      05
1225 FOR I=1 TO 9
1230 READ F5(I)
1235 NEXT I
1240 DATA 200,400,800,1600,2000,
     2000,2000,2000,250
1245 FOR I=1 TO 9
1250 READ P3(I)
1255 NEXT I
1260 DATA 5
1265 READ D4
1270 DATA .148,0
1275 READ C1,G1
1280 C=0
1285 REM :RANDOMIZE MENU
1290 LET R5=0 ! 1=NOT RANDOM
1295 PRINT USING 1305 ;
1300 WAIT 2000
1305 IMAGE "ADMITTANCES&HI&CAPAC
     ITANCES",/,"LARGE STEPS",/,
     "POTENTIOSTAT"
1310 ! CALL GET_FILE_NAME
1315 GOSUB 3905
1320 ENABLE KBD 32
1325 ABORTIO 7 @ REMOTE 717,723
     @ LOCAL LOCKOUT 7
1330 ! CALL CHECK_DC
1335 GOSUB 3020
1340 IF E1 THEN 2095
1345 CLEAR
1350 ON TIMEOUT 7 GOTO 1365 @ SE
     T TIMEOUT 7;H1
1355 OUTPUT 723 ;"F1R0N5T4Z1D1"
1360 OFF TIMEOUT 7 @ GOTO 1370
1365 OFF TIMEOUT 7 @ DISP "TIMEO
     UT,DMM SETTING" @ GOTO 2095
1370 ENABLE KBD 1
1375 CLEAR @ DISP "INTERSAMPLING
      RELAXATION" @ DISP "TIME,m
     in"
1380 DISP "MINIMUM:1 minute"
1385 DISP "ENTER";
1390 INPUT S9
1395 IF S9>1 THEN 1410
1400 DISP "&TOO SHORT" @ DISP
1405 GOTO 1375
1410 D9=S9*60000
1415 D7=D9/D4
1420 CLEAR @ DISP USING 1425 ; S
     9
1425 IMAGE "INTERSAMPLING RELAXA
     TION",/,"TIME:",3X,2D.D," m
     in"
1430 DISP @ DISP "Urev + STD. DE
     V"
1435 ON TIMEOUT 7 GOTO 1450 @ SE
     T TIMEOUT 7;H1
1440 OUTPUT 717 ;"I1"
1445 OFF TIMEOUT 7 @ GOTO 1460
1450 OFF TIMEOUT 7 @ DISP "DMM H
     ANG-UP,SETTINGS"
1455 GOTO 2095
1460 ! CALL GET_Urev
1465 GOSUB 3320
1470 IF E1 THEN 2095
1475 PRINT USING 1480 ; U8,U9
1480 IMAGE "Urev=",SD.3D," +/- "
     ,SD.3D,3/
1485 ON TIMEOUT 7 GOTO 1500 @ SE
     T TIMEOUT 7;H1
1490 OUTPUT 723 ;"T1"
1495 OFF TIMEOUT 7 @ GOTO 1505
1500 OFF TIMEOUT 7 @ DISP "TIMEO
     UT,DMM SETTINGS" @ GOTO 231
     0
1505 ENABLE KBD 32
1510 ! CALL GET_AC
1515 GOSUB 3140
1520 IF E1 THEN 2095
1525 I8$=VAL$(I8)
1530 ENABLE KBD 1
1535 ! CALL SET_SAMPLES
1540 GOSUB 3600
1545 ENABLE KBD 32
1550 ! CALL GET_FREQUENCY
1555 GOSUB 2490
1560 REM SETTINGS
1565 ON TIMEOUT 7 GOTO 1580 @ SE
     T TIMEOUT 7;H1
1570 OUTPUT 717 ;"A4B1C2D0H1R31S
     0T3"
1575 OFF TIMEOUT 7 @ GOTO 1600
1580 OFF TIMEOUT 7
1585 CLEAR @ BEEP 5,1000
```

```
1590 DISP USING 2015 ; @ DISP US
     ING 2020 ; @ DISP USING 202
     5 ; @ GOTO 2095
1595 REM S8$,S9$:FOR ECHO TEST
1600 S8$=" A4B1C2D0" @ S9$="H1I1
     M"&I8$&"R31S0T3"
1605 IMAGE "BI",S3D@,"V"
1610 CLEAR
1615 ON KEY# 8,"STOP" GOTO 1925
1620 KEY LABEL
1625 DISP USING 1305 ;
1630 PRINT USING 1635 ; S9
1635 IMAGE "INTERSAMPLING RELAXA
     TION",/,2D.D," min"
1640 E0=0
1645 CLEAR @ KEY LABEL @ DISP US
     ING 1305 ;
1650 BEEP 5,1000 @ WAIT 3000 @ C
     LEAR
1655 STATUS 7,1 ; S@ S=SPOLL(717
     ) @ V1=SPOLL(723)
1660 U0=U4 @ U1=0
1665 ! STROKE COUNT LOOP
1670 ! $$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$
1675 FOR I9=1 TO 2
1680 CLEAR
1685 ! SAMPLING LOOP
1690 ! @@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@
1695 FOR I8=1 TO N8
1700 ON ERROR GOTO 1975
1705 D8=D9
1710 ! CALL POTENTIOSTAT
1715 GOSUB 4960
1720 ON E1 GOTO 1730,2095,1925,1
     940
1725 ! ##########################
1730 ! MENU LOOP
1735 FOR F9=1 TO 3
1740 ! CALL VERNIER_PULSE
1745 GOSUB 5480
1750 ON E1 GOTO 1755,2095,1925,1
     940
1755 I3=I9+2*(F9-1)
1760 ! CALL ACQUIRE
1765 GOSUB 4780
1770 ON E1 GOTO 1775,2095,1925,1
     940
1775 U(I3,I8)=B5 @ V5(I3,I8)=U1
1780 Z(I3,I8)=Z2 @ O(I3,I8)=02
1785 NEXT F9
1790 ! END MENU LOOP
1795 ! ##########################
1800 ! CALL SHOW_DATA
1805 GOSUB 2420
1810 IF I8=N8 THEN 1820
1815 U0=U0+U6
1820 NEXT I8
1825 ! @@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@
1830 ! END SAMPLING LOOP
1835 OFF ERROR @ OFF INTR 7 @ OF
     F TIMER# 1 @ OFF TIMER# 3
1840 CLEAR @ DISP "END STROKE" @
      BEEP 5,3000 @ WAIT 2000
1845 U6=-U6
1850 NEXT I9
1855 ! END STROKE COUNT LOOP
1860 ! $$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$
1865 REM :NORMAL ESCAPE
1870 OFF ERROR @ OFF INTR 7 @ OF
     F TIMEOUT 7 @ OFF KEY# 8 @
     OFF TIMER# 1 @ OFF TIMER# 3
1875 ! GET_STATS
1880 GOSUB 5410
1885 CLEAR @ KEY LABEL @ DISP US
     ING 1305 ; @ DISP USING 189
     0 ;
1890 IMAGE 3/,"END OF ACQUISITIO
     N",/,"TAPE I/O AND PRINTING
      FOLLOW"
1895 ! CALL GET_TAPE
1900 GOSUB 4045
1905 IF E1 THEN 2095
1910 ! CALL PRINT_DATA
1915 GOSUB 4190
1920 C,E1=0 @ GOTO 2095
1925 REM KEY#8 ESCAPE
1930 OFF ERROR @ OFF INTR 7 @ OF
     F TIMEOUT 7 @ OFF KEY# 8 @
     OFF TIMER# 1 @ OFF TIMER# 3
1935 C=1 @ GOTO 2095
1940 REM :ILLEGAL SRQ ESCAPE
1945 ! OUTSIDE OF ACQUISITION
1950 OFF ERROR @ OFF INTR 7 @ OF
     F TIMEOUT 7 @ OFF KEY# 8 @
     OFF TIMER# 1 @ OFF TIMER# 3
1955 STATUS 7,1 ; S@ S=SPOLL(717
     )
1960 ! CALL EXPLAIN_SRQ
1965 GOSUB 3795
1970 C=1 @ GOTO 2095
1975 REM ERROR ESCAPE
1980 OFF ERROR @ OFF INTR 7 @ OF
     F TIMEOUT 7 @ OFF KEY# 8 @
     OFF TIMER# 1 @ OFF TIMER# 3
1985 STATUS 7,1 ; S@ S=SPOLL(717
     )
1990 ! CALL EXPLAIN_ERROR
1995 GOSUB 4545
2000 C=1 @ GOTO 2095
2005 REM ERROR MESSAGES
2010 ! <<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<
2015 IMAGE "BUS HANG-UP IN"
2020 IMAGE "FORMATTED WRITE,"
2025 IMAGE "INITIAL,SETTINGS"
2030 IMAGE "DC BIAS STATUS CHECK
     "
2035 IMAGE "INITIAL DC BIAS CODE
     "
2040 IMAGE "UNFORMATTED WRITE,"
2045 IMAGE "RAMP LOOP"
2050 IMAGE "GRP EXEC TRIG",/,"MT
     A ACK TIMEOUT"
2055 IMAGE "UNFORMATTED READ,"
2060 IMAGE "ACQUIRE BLOCK"
2065 IMAGE "INTERCALATED PULSE"
2070 IMAGE "INTERFACE GARBLE,"
2075 IMAGE "OVER- OR UNDER-FLOW,
     LCR",/,"MAIN MEMORY"
2080 ! <<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<
2085 REM END ERROR MESSAGES
2090 REM :COM ESCAPE POINT
2095 ASSIGN# 7 TO *
2100 DISP "TERMINATE" @ BEEP
2105 STATUS 7,1 ; S@ S=SPOLL(717
     ) @ V1=SPOLL(723)
2110 OUTPUT 717 ;"BI000E00VI0"
2115 OUTPUT 723 ;"KM00"
2120 DISP USING 2125 ;
2125 IMAGE "DON'T FORGET TO SWIT
     CH OFF",/,"THE DC BIAS SWIT
     CH BEFORE",/,"REMOVING THE
     CELL"
2130 LOCAL 7 @ ABORTIO 7
2135 BEEP @ DISP "END OF" @ DISP
      USING 1305 ;
2140 DISP USING 2145 ;
2145 IMAGE "THE PROCESSOR FILE N
     AME IS:",/,10X,"Z0RC"
2150 END ! MAIN
```

SOUS-PROGRAMMES

```
2170 ! SUBROUTINE START_METERS
2175 E1=1
2180 ON KEY# 8,"STOP" GOTO 2245
2185 ON TIMER# 1,H3 GOTO 2200
2190 SEND 7 ; MTA UNL LISTEN 17,
     23
2195 STATUS 7,2 ; S@ IF BIT(S,0)
      THEN 2195 ELSE 2210
2200 OFF ERROR @ OFF INTR 7 @ OF
     F KEY# 8 @ OFF TIMER# 1
2205 DISP USING 2050 ; @ E1=2 @
     GOTO 2250
2210 OFF TIMER# 1 @ STATUS 7,1 ;
      S@ S=SPOLL(717) @ V1=SPOLL
     (723)
2215 OFF INTR 7 @ ON INTR 7 GOTO
      4855
2220 TRIGGER 717,723 @ RESUME 7
2225 WAIT 1000
2230 REM The RETURN to avoid
2235 REM timing problem
2240 ENABLE INTR 7;8 @ ON KEY# 8
     ,"STOP" GOTO 1925 @ RETURN
2245 OFF INTR 7 @ OFF KEY# 8 @ E
     1=3
2250 RETURN
2255 END ! START_METERS
2260 !
2265 ! SUBROUTINE READ_&_CHECK
2270 E1=1 @ ON KEY# 8,"STOP" GOT
     O 2400
2275 IF S=Q AND V1=V7 THEN 2285
2280 OFF KEY# 8 @ E1=4 @ E0=1 @
     GOTO 2405
2285 ! CALL PULL_SCE
2290 GOSUB 4415
2295 IF E1>1 THEN 2405
2300 CONTROL Z$,0 ; 1,0
2305 ON TIMEOUT 7 GOTO 2320 @ SE
     T TIMEOUT 7;H2
2310 TRANSFER 717 TO Z$ FHS
2315 OFF TIMEOUT 7 @ GOTO 2335
2320 OFF TIMEOUT 7 @ OFF KEY# 8
2325 DISP USING 2015 ; @ DISP US
     ING 2655 ; @ DISP USING 206
     0 ;
2330 E1=2 @ GOTO 2405
2335 ON ERROR GOTO 2355
2340 ENTER Z$ USING 2345 ; Z2,02
2345 IMAGE #,6X,D.5De,3X,2D.5De
2350 OFF ERROR @ GOTO 2370
2355 OFF ERROR @ OFF KEY# 8
2360 DISP USING 2070 ; @ DISP US
     ING 2060 ;
2365 E1=2 @ GOTO 2405
2370 REM Num ch in LCR main
2375 ! ASCII queue:34
2380 CONTROL Z$,0 ; 1,34
2385 IF Z$[4,4]&Z$[19,19]="NN" T
     HEN 2395
2390 OFF KEY# 8 @ DISP USING 207
     5 ; @ E1=2 @ GOTO 2405
2395 ON KEY# 6,"STOP" GOTO 1925
     @ GOTO 2405
2400 OFF ERROR @ OFF TIMEOUT 7 @
      OFF KEY# 8 @ E1=3
2405 RETURN
2410 END ! READ_&_CHECK
2420 ! SUBROUTINE SHOW_DATA
2425 IF RMD(I8-1,14)#0 AND RMD(I
     8-1,3)#0 THEN 2440
2430 CLEAR @ DISP USING 2435 ;
2435 IMAGE "F!","S!","pt#!","Usc
     e,V !","/Z/,Q     !8,deg"
2440 FOR F9=1 TO 3
2445 S=I9+2*(F9-1)
2450 DISP USING 2455 ; F9,I9,I8,
     U(S,I8),Z(S,I8),Q(S,I8)
2455 IMAGE 2(D,"!"),2D,X,"!",SZ.
     3D," !",D.3De,"!",3D.D
2460 NEXT F9
2465 DISP
2470 RETURN
2475 END ! SHOW_DATA
2490 ! SUBROUTINE GET_FREQUENCY
2495 ON KEY# 1,"A" GOTO 2525 @ O
     N KEY# 2,"B" GOTO 2530 @ ON
      KEY# 3,"C" GOTO 2535
2500 ON KEY# 4,"D" GOTO 2540
2505 CLEAR @ DISP USING 2510 ; @
      DISP USING 2515 ; @ KEY LA
     BEL
2510 IMAGE "FREQUENCY MENUS"
2515 IMAGE "A:.2,2,20 KHz",/,"B:
     .4,4,40 KHz",/,"C:1,10,100
     KHz",/,"D:.4,1,2 KHz"
2520 GOTO 2520
2525 OFF KEY# 1 @ OFF KEY# 2 @ O
     FF KEY# 3 @ OFF KEY# 4 @ RE
     STORE 2550 @ E1=1 @ GOTO 25
     70
2530 OFF KEY# 1 @ OFF KEY# 2 @ O
     FF KEY# 3 @ OFF KEY# 4 @ RE
     STORE 2555 @ E1=2 @ GOTO 25
     70
2535 OFF KEY# 1 @ OFF KEY# 2 @ O
     FF KEY# 3 @ OFF KEY# 4 @ RE
     STORE 2560 @ E1=3 @ GOTO 25
     70
2540 OFF KEY# 4 @ OFF KEY# 1 @ O
     FF KEY# 2 @ OFF KEY# 3 @ RE
     STORE 2565 @ E1=4 @ GOTO 25
     70
2545 REM REMOTE CODES
2550 DATA 13,16,19
2555 DATA 14,17,20
2560 DATA 15,18,21
2565 DATA 14,15,16
2570 READ F(1),F(2),F(3)
2575 ON E1 GOTO 2580,2590,2600,2
     610
2580 RESTORE 2625
2585 GOTO 2615
2590 RESTORE 2636
2595 GOTO 2615
2600 RESTORE 2635
2605 GOTO 2615
2610 RESTORE 2640
2615 READ F0(1),F0(2),F0(3)
2620 REM FREQS,KHz
2625 DATA .2,2,20
2630 DATA .4,4,40
2635 DATA 1,10,100
2640 DATA .4,1,2
2645 ON E1 GOTO 2650,2660,2670,2
     680
2650 RESTORE 2720
2655 GOTO 2685
2660 RESTORE 2730
2665 GOTO 2685
2670 RESTORE 2740
2675 GOTO 2685
2680 RESTORE 2750
2685 READ C0(1),C0(2),C0(3)
2690 READ G0(1),G0(2),G0(3)
2695 REM DMM CORRECTIONS,
2700 REM PARALLEL;BY PAIRS OF
2705 REM DATA STMTS
2710 REM TOP OF PAIR:C,nF;
2715 REM BOTTOM OF PAIR:G,nS
2720 DATA .5187,.37946,.034914
2725 DATA 39.7,2819.7,9735.6
```

```
2730 DATA .5128,.21541,.025577
2735 DATA 156,6082,9998
2740 DATA .47558,.060393,.022641
2745 DATA 889,9108.8,10502
2750 DATA .5128,.47558,.37946
2755 DATA 156,889,2819
2760 IF R5=1 THEN 2775
2765 ! CALL CHOOSE ORDER
2770 GOSUB 2825
2775 PRINT USING 2780 ; F0(1),F0
     (2),F0(3)
2780 IMAGE "MENU FREQUENCIES,KHz
     ",/,3(3D.D,X)
2785 CLEAR
2790 FOR F9=1 TO 3
2795 C0(F9)=C0(F9)+C1
2800 G0(F9)=G0(F9)+G1
2805 NEXT F9
2810 RETURN
2815 END ! GET_FREQUENCY
2825 ! SUBROUTINE CHOOSE_ORDER
2830 CLEAR @ DISP "ENTER ORDER"
2835 ENABLE KBD 1
2840 DISP "▮";
2845 INPUT O5(1),O5(2),O5(3)
2850 FOR S=1 TO 3
2855 IF O5(S)>=1 AND O5(S)<=3 TH
     EN 2865
2860 GOTO 2875
2865 NEXT S
2870 GOTO 2880
2875 DISP "4IMPROPER ENTRY4" @ G
     OTO 2840
2880 ENABLE KBD 32
2885 FOR S=1 TO 3
2890 Z(1,S)=F0(O5(S))
2895 NEXT S
2900 FOR S=1 TO 3
2905 F0(S)=Z(1,S)
2910 NEXT S
2915 FOR S=1 TO 3
2920 Z(1,S)=C0(O5(S))
2925 NEXT S
2930 FOR S=1 TO 3
2935 C0(S)=Z(1,S)
2940 NEXT S
2945 FOR S=1 TO 3
2950 Z(1,S)=G0(O5(S))
2955 NEXT S
2960 FOR S=1 TO 3
2965 G0(S)=Z(1,S)
2970 NEXT S
2975 FOR S=1 TO 3
2980 O5(S)=F(O5(S))
2985 NEXT S
2990 FOR S=1 TO 3
2995 F(S)=O5(S)
3000 NEXT S
3005 RETURN
3010 END ! CHOOSE ORDER
3015 !
3020 ! SUBROUTINE CHECK_DC
3025 E1=0
3030 ON TIMEOUT 7 GOTO 3045 @ SE
     T TIMEOUT 7;H4
3035 CLEAR 723
3040 OFF TIMEOUT 7 @ GOTO 3055
3045 OFF TIMEOUT 7 @ E1=1 @ DISP
      "DMM FAILS SELF-TEST"
3050 GOTO 3125
3055 ON TIMEOUT 7 GOTO 3070 @ SE
     T TIMEOUT 7;H1
3060 OUTPUT 717 ;"I0"
3065 OFF TIMEOUT 7 @ GOTO 3080
3070 OFF TIMEOUT 7 @ E1=1 @ DISP
      USING 2015 ; @ DISP USING
     2020 ; @ DISP USING 2025 ;
3075 GOTO 3125
3080 OFF KEY# 1 @ S=SPOLL(717)
3085 ON TIMEOUT 7 GOTO 3100 @ SE
     T TIMEOUT 7;H1
3090 OUTPUT 717 ;"BI000E00V"
3095 OFF TIMEOUT 7 @ GOTO 3125
3100 OFF TIMEOUT 7
3105 CLEAR @ BEEP 5,1000 @ ON KE
     Y# 1 GOTO 3080
3110 IMAGE "PUT THE DC BIAS SWIT
     CH",/,"IN 'int' POSITION,PL
     EASE",/,"WHEN DONE,PUSH KEY
     #1"
3115 DISP USING 3110 ;
3120 GOTO 3120
3125 RETURN
3130 END ! CHECK_DC
3140 ! SUBROUTINE GET_AC
3145 E1=0
3150 I8=1
3155 ! CALL MULT_IT
3160 GOSUB 4610
3165 IF E1 THEN 3235
3170 ON KEY# 7,"READY" GOTO 3185
3175 CLEAR @ KEY LABEL @ DISP "A
     C LEVEL ADJUST"
3180 IF E1 THEN 3235 ELSE 3180
3185 OFF KEY# 7
3190 ON TIMEOUT 7 GOTO 3205 @ SE
     T TIMEOUT 7;H1
3195 OUTPUT 717 ;"LV"
3200 OFF TIMEOUT 7 @ GOTO 3215
3205 OFF TIMEOUT 7
3210 GOTO 3235
3215 CONTROL Z$,0 ; 21,200 ON TI
     MEOUT 7 GOTO 3230 @ SET TIM
     EOUT 7;H2
3220 TRANSFER 717 TO Z$ FHS
3225 OFF TIMEOUT 7 @ GOTO 3240
3230 OFF TIMEOUT 7
3235 DISP USING 2015 ; @ GOTO 32
     60
3240 E1=Z$[21,21]=" " @ S=Z$[22,
     22]="N" @ IF E1 AND S THEN
     3270
3245 CLEAR @ IF S THEN 3255
3250 DISP USING 2070 ; @ GOTO 32
     60
3255 DISP "BUS GARBLE"
3260 DISP "4AC LEVEL ROUTINE4"
3265 GOTO 3305
3270 ENTER Z$ USING 3275 ; V0
3275 IMAGE 3X,2D.2De
3280 IF V0>=.004 AND V0<=.006 TH
     EN 3295
3285 DISP "READJUST" @ WAIT 1000
3290 E1=0 @ GOTO 3170
3295 V=V0 @ V0=V0*1000 @ DISP US
     ING 3300 ; V0 @ WAIT 4000 @
      CLEAR @ E1=0
3300 IMAGE "AC OK DON'T TOUCH",/
     ,"AC VLT:",3D.D," mV R.M.S.
     "
3305 OFF KEY# 7 @ OFF KEY# 1 @ O
     FF KEY# 2 @ OFF KEY# 3 @ RE
     TURN
3310 END ! GET_AC
3315 !
3320 ! SUBROUTINE GET_Urev
3325 E1=0
3330 U8,U9=0
3335 ON TIMER# 1,D9 GOTO 3345
3340 GOTO 3340
3345 OFF TIMER# 1
3350 ON TIMEOUT 7 GOTO 3365 @ SE
     T TIMEOUT 7;H1
3355 OUTPUT 723 ;"KM01"
```

```
3360 OFF TIMEOUT 7 @ GOTO 3375
3365 OFF TIMEOUT 7 @ E1=1 @ DISP
     "HANG-UP,Urev ROUTINE"
3370 GOTO 3580
3375 STATUS 7,1 ; S@ S=SPOLL(723
     )
3380 FOR I8=1 TO 10
3385 SEND 7 ; MTA UNL LISTEN 23
3390 STATUS 7,2 ; S@ IF BIT(S,0)
      THEN 3390 ELSE 3400
3395 DISP USING 2050 ; @ E1=1 @
     GOTO 3580
3400 STATUS 7,1 ; S@ S=SPOLL(723
     )
3405 ON INTR 7 GOTO 3420 @ ENABL
     E INTR 7;8
3410 TRIGGER 723 @ RESUME 7
3415 GOTO 3415
3420 OFF INTR 7 @ STATUS 7,1 ; S
     @ WAIT 500 @ S=SPOLL(723)
3425 IF S=Q THEN 3440
3430 DISP "ILLEGAL SERVICE REQUE
     ST" @ DISP "Urev ROUTINE"
3435 E1=1 @ E0=1 @ GOTO 3580
3440 CONTROL U$,0 ; 1,0
3445 ON TIMEOUT 7 GOTO 3460 @ SE
     T TIMEOUT 7;H2
3450 TRANSFER 723 TO U$ FHS
3455 OFF TIMEOUT 7 @ GOTO 3480
3460 OFF TIMEOUT 7 @ OFF KEY$ 8
3465 DISP USING 2015 ; @ DISP US
     ING 2055 ; @ DISP "DMM"
3470 E1=1
3475 GOTO 3580
3480 ON ERROR GOTO 3500
3485 ENTER U$ USING 3490 ; U7
3490 IMAGE #,SD.5De
3495 OFF ERROR @ GOTO 3515
3500 OFF ERROR @ DISP USING 3505

3505 IMAGE "GARBLE,BUS4DMM"
3510 E1=1 @ GOTO 3580
3515 IF U7<9999990000 THEN 3530
3520 DISP "*DMM OVLD*"
3525 E1=1 @ GOTO 3580
3530 U8=U8+U7
3535 U9=U9+U7^2
3540 NEXT I8
3545 U8=U8/10
3550 U9=SQR(U9-U8^2*10)/3
3555 ON TIMEOUT 7 GOTO 3570 @ SE
     T TIMEOUT 7;H1
3560 OUTPUT 723 ;"KM00"
3565 OFF TIMEOUT 7 @ GOTO 3580
3570 OFF TIMEOUT 7 @ E1=1
3575 DISP "BUS HANG-UP,Urev ROUT
     INE"
3580 RETURN
3585 END ! GET_Urev
3595 !
3600 ! SUBROUTINE SET_SAMPLES
3605 U7=10*V
3610 CLEAR
3615 DISP "START SCE VLT",
3620 INPUT U4
3625 DISP "FINAL SCE VLT";
3630 INPUT U5
3635 V=U5-U4 @ D0=SGN(V) @ V=ABS
     (V)
3640 IF V>U7 THEN 3650
3645 DISP "IMPROPER VALUES" @ DI
     SP @ GOTO 3615
3650 S=FLOOR(1000*V+.5) @ S=S\N8
      @ U6=S/1000
3655 S=FLOOR(1000*U4+.5) @ U4=S/
     1000
3660 U7=U6
3665 IMAGE "ADJUSTED END SCE PTS
     :",/,2(SZ.3D,X),"VOLT",/,"
     BY STEPS OF:",SZ.3D," VOLT"
3670 U6=D0*U6
3675 U5=U4+(N8-1)*U6
3680 PRINT USING 3665 ; U4,U5,U7
3685 PRINT USING 3690 ; V0
3690 IMAGE "AC VLT:",2D.D," mV R
     .M.S."
3695 RETURN
3700 END ! SET_SAMPLES
3705 !
3710 ! SUBROUTINE ECHO
3715 E1=0
3720 ON TIMEOUT 7 GOTO 3735 @ SE
     T TIMEOUT 7;H1
3725 OUTPUT 717 ;"K"
3730 OFF TIMEOUT 7 @ ON TIMEOUT
     7 GOTO 3750 @ SET TIMEOUT 7
     ;H1 @ GOTO 3740
3735 OFF TIMEOUT 7 @ GOTO 3755
3740 ENTER 717 ; S7$
3745 OFF TIMEOUT 7 @ GOTO 3765
3750 OFF TIMEOUT 7 @ CLEAR @ BEE
     P 5,1000
3755 DISP USING 2015 ; @ DISP "*
     **ECHO TEST***"
3760 E1=1 @ GOTO 3780
3765 IF S7$=S8$&"F"&F$&S9$ THEN
     3780
3770 E1=1 @ DISP USING 3775 ;
3775 IMAGE "ERROR IN SETTINGS"
3780 RETURN
3785 END ! ECHO
3790 !
3795 ! SUBROUTINE EXPLAIN_SRQ
3800 CLEAR @ BEEP 5,1000 @ DISP
     "ILLEGAL SERVICE REQUEST"
3805 IF E0 THEN 3815
3810 S=SPOLL(717) @ STATUS 7,1 ;
      E1
3815 IF S=0 OR S=Q THEN 3850
3820 DISP @ DISP "LCR METER"
3825 FOR I8=3 TO 1 STEP -1
3830 IF BIT(S,I8) THEN 3840
3835 NEXT I8
3840 DISP USING 3845 ; I8
3845 IMAGE "MOST SEVERE BIT ASSE
     RTED IS# ",D
3850 IF E0 THEN 3860
3855 V1=SPOLL(723) @ STATUS 7,1
     ; E1
3860 IF V1=0 OR V1=Q OR V1=V7 TH
     EN 3890
3865 DISP @ DISP "DMM"
3870 FOR I8=5 TO 2 STEP -1
3875 IF BIT(V1,I8) THEN 3885
3880 NEXT I8
3885 DISP USING 3845 ; I8
3890 RETURN
3895 END ! EXPLAIN_SRQ
3905 ! SUBROUTINE GET_FILE_NAME
3910 CLEAR @ BEEP 5,1000 @ DISP
     "ENTER FILE NAME (5 CH MAX)
     ";
3915 ON ERROR GOTO 3930
3920 INPUT F9$
3925 OFF ERROR @ GOTO 3940
3930 OFF ERROR
3935 DISP "INPUT ERROR" @ WAIT 3
     000 @ GOTO 3910
3940 ON ERROR GOTO 3955
3945 REWIND
3950 OFF ERROR @ GOTO 3960
3955 OFF ERROR @ DISP "NO CASSET
     TE" @ WAIT 5000 @ GOTO 3910
```

```
3960 ON ERROR GOTO 3975
3965 CREATE F9$,3,1432
3970 OFF ERROR @ ASSIGN# 7 TO F9
     $ @ GOTO 4020
3975 OFF ERROR
3980 IMAGE "NAME IN CATALOGUE",/
     ,"CHOOSE ANOTHER"
3985 IMAGE "NOT ENOUGH ROOM TO C
     REATE",/,"A NEW FILE",/,"US
     E ANOTHER TAPE",/,"PAUSE"
3990 IF ERRN=63 THEN 4010
3995 DISP USING 3985 ; @ BEEP 20
     ,4000
4000 PAUSE
4005 GOTO 3960
4010 BEEP @ DISP USING 3980 ; @
     WAIT 3000
4015 GOTO 3910
4020 PRINT "FILE NAME:-";F9$
4025 CLEAR
4030 RETURN
4035 END ! GET_FILE_NAME
4040 !
4045 ! SUBROUTINE GET_TAPE
4050 U6=ABS(U6)
4055 ON ERROR GOTO 4165
4060 REWIND
4065 FOR F9=1 TO 3
4070 I3=2*F9-1 @ I=I3+1
4075 PRINT# 7,F9 ; N8,S9,F0(F9),
     V0,U4,U5,U6,U8,U9
4080 PRINT# 7 ; C0(F9)
4085 PRINT# 7 ; G0(F9)
4090 FOR S=1 TO N8
4095 PRINT# 7 ; U(I3,S),U(I,S),Z
     (I3,S),Z(I,S),O(I3,S),O(I,S
     )
4100 NEXT S
4105 FOR S=1 TO N8
4110 PRINT# 7 ; S0(F9,S),Z0(F9,S
     ),O0(F9,S)
4115 NEXT S
4120 FOR S=1 TO N8
4125 PRINT# 7 ; V5(I3,S),V5(I,S)
4130 NEXT S
4135 FOR S=1 TO N8
4140 PRINT# 7 ; V6(F9,S).
4145 NEXT S
4150 NEXT F9
4155 OFF ERROR @ CLEAR @ DISP @
     DISP "END TAPE WRITE"
4160 E1=0 @ GOTO 4175
4165 OFF ERROR @ E1=1 @ DISP USI
     NG 4170 ;
4170 IMAGE /,"**TAPE I/O ERROR**
     "
4175 RETURN
4180 END ! GET_TAPE
4190 ! SUBROUTINE PRINT_DATA
4195 IMAGE "Pt#!","Usce,V !","/Z
     /,Ω    ;8,deg"
4200 IMAGE 2D,X,"!",SZ.3D," !",D
     .3De,"!",3D.D
4205 IMAGE "Pt#!","&Usce,V!","&/
     Z/,Ω    !&0,deg"
4210 FOR F9=1 TO 3
4215 PRINT USING 4220 ; F0(F9)
4220 IMAGE /,"FREQUENCY:",3D.D,"
      KHz"
4225 PRINT @ PRINT "VALUES"
4230 FOR I9=1 TO 2
4235 S=I9+2*(F9-1)
4240 IF I9=1 THEN PRINT "FORWARD
      STROKE" ELSE PRINT "REVERS
     E STROKE"
4245 PRINT USING 4195 ;
4250 FOR I8=1 TO N8
4255 PRINT USING 4200 ; I8,U(S,I
     8),Z(S,I8),O(S,I8)
4260 NEXT I8
4265 NEXT I9
4270 PRINT @ PRINT "STANDARD DEV
     IATIONS"
4275 PRINT USING 4205 ;
4280 FOR I8=1 TO N8
4285 PRINT USING 4200 ; I8,S0(F9
     ,I8),Z0(F9,I8),O0(F9,I8)
4290 NEXT I8
4295 NEXT F9
4300 PRINT @ PRINT "DC BIAS VOLT
     S AND" @ PRINT "STANDARD DE
     VIATIONS"
4305 PRINT "FROM LEFT TO RIGHT I
     N ORDER" @ PRINT "OF THE AP
     PEARING FREQUENCIES" @ PRIN
     T
4310 PRINT "THE VOLTS"
4315 IMAGE "V#1    !V#2    !V#3"
4320 IMAGE SZ.3D,2("!",SZ.3D)
4325 FOR I9=1 TO 2
4330 IF I9=1 THEN PRINT "FORWARD
      STROKE" ELSE PRINT "REVERS
     E STROKE"
4335 PRINT USING 4315 ;
4340 FOR I8=1 TO N8
4345 ON I9 GOTO 4350,4360
4350 PRINT USING 4320 ; V5(1,I8)
     ,V5(3,I8),V5(5,I8)
4355 GOTO 4365
4360 PRINT USING 4320 ; V5(2,I8)
     ,V5(4,I8),V5(6,I8)
4365 NEXT I8
4370 NEXT I9
4375 PRINT "STANDARD DEVIATIONS"
4380 PRINT USING 4315 ;
4385 FOR I8=1 TO N8
4390 PRINT USING 4320 ; V6(1,I8)
     ,V6(2,I8),V6(3,I8)
4395 NEXT I8
4400 RETURN
4405 END ! PRINT_DATA
4410 !
4415 ! SUBROUTINE PULL_SCE
4420 ON KEY# 8,"STOP" GOTO 4525
4425 CONTROL U$,0 ; 1,0
4430 ON TIMEOUT 7 GOTO 4445 @ SE
     T TIMEOUT 7;H2
4435 TRANSFER 723 TO U$ FHS
4440 OFF TIMEOUT 7 @ GOTO 4460
4445 OFF TIMEOUT 7 @ OFF KEY# 0
4450 DISP USING 2015 ; @ DISP 27
     96;@ DISP 2830;@ E1=2
4455 GOTO 4530
4460 ON ERROR GOTO 4480
4465 ENTER U$ USING 4470 ; U7
4470 IMAGE SD.5De
4475 OFF ERROR @ GOTO 4495
4480 OFF ERROR @ OFF KEY# 8
4485 DISP USING 2070 ; @ E1=2
4490 GOTO 4530
4495 IF U7<9999990000 THEN 4515
4500 DISP "*DMM OVLD*"
4505 E1=2
4510 GOTO 4530
4515 B5=U7
4520 GOTO 4530
4525 OFF KEY# 8 @ E1=3
4530 ON KEY# 8,"STOP" GOTO 1925
     @ RETURN
4535 END ! PULL_SCE
4545 ! SUBROUTINE EXPLAIN_ERROR
4550 IF ERROM=0 THEN 4560
4555 DISP USING 1155 ;
4560 IF ERRSC=0 THEN 4575
```

```
4565 DISP USING 4570 ;
4570 IMAGE "INTERFACE ERROR";
4575 S=ERRN @ V1=ERRL
4580 DISP USING 4585 ; S,V1
4585 IMAGE "ERROR CODE IS:",3D,/
     ,"AT LINE#",4D
4590 RETURN
4595 END ! EXPLAIN_ERROR
4600 !
4605 !
4610 ! SUBROUTINE MULT_IT
4615 IMAGE "M",D
4620 ON TIMEOUT 7 GOTO 4635 @ SE
     T TIMEOUT 7;H1
4625 OUTPUT 717 USING 4615 ; I8
4630 OFF TIMEOUT 7 @ GOTO 4640
4635 OFF TIMEOUT 7 @ E1=1 @ GOTO
      4645
4640 ON KEY# 1,".01" GOSUB 4660
     @ ON KEY# 2,".1" GOSUB 4700
      @ ON KEY# 3,"1" GOSUB 4740
4645 RETURN
4650 END ! MULT_IT
4655 !
4660 ! SUBROUTINE .01
4665 OFF KEY# 1 @ OFF KEY# 2 @ O
     FF KEY# 3
4670 I8=1
4675 ! CALL MULT_IT
4680 GOSUB 4610
4685 RETURN
4690 END ! .01
4695 !
4700 ! SUBROUTINE .1
4705 OFF KEY# 1 @ OFF KEY# 2 @ O
     FF KEY# 3
4710 I8=2
4715 ! CALL MULT_IT
4720 GOSUB 4610
4725 RETURN
4730 END ! .1
4735 !
4740 ! SUBROUTINE 1
4745 OFF KEY# 1 @ OFF KEY# 2 @ O
     FF KEY# 3
4750 I8=3
4755 ! CALL MULT_IT
4760 GOSUB 4610
4765 RETURN
4770 END ! 1
4780 ! SUBROUTINE ACQUIRE
4785 ! CALL SET_FREQUENCY
4790 GOSUB 4895
4795 IF NOT E1 THEN 4805
4800 E1=2 @ GOTO 4880
4805 ! CALL ECHO
4810 GOSUB 3710
4815 IF NOT E1 THEN 4840
4820 E1=2 @ GOTO 4880
4825 REM This SR has the data
4830 ! ready byte SRQ interrupt
4835 ! enabled
4840 ! CALL START_METERS
4845 GOSUB 2170
4850 IF E1=1 THEN 4850 ELSE 4880
4855 OFF INTR 7
4860 WAIT 500
4865 STATUS 7,1 ; S@ S=SPOLL(717
     ) @ V1=SPOLL(723)
4870 ! CALL READ_&_CHECK
4875 GOSUB 2265
4880 RETURN
4885 END ! ACQUIRE
4890 !
4895 ! SUBROUTINE SET_FREQUENCY
4900 E1=F(F9)
4905 ON TIMEOUT 7 GOTO 4920 @ SE
     T TIMEOUT 7;H1
4910 OUTPUT 717 USING 4925 ; E1
4915 OFF TIMEOUT 7 @ GOTO 4940
4920 OFF TIMEOUT 7 @ CLEAR @ BEE
     P
4925 IMAGE "F",2D
4930 DISP USING 2015 ; @ DISP US
     ING 2020 ; @ DISP USING 202
     5 ;
4935 E1=1 @ GOTO 4945
4940 F$=VAL$(E1) @ E1=0
4945 RETURN
4950 END ! SET_FREQUENCY
4960 ! SUBROUTINE POTENSTIOSTAT
4965 OFF KEY# 8
4970 CONTROL U$,0 ; 1,0
4975 OUTPUT U$ USING 4980 ; U,
4980 IMAGE #,"S.C.E.",SZ.3D
4985 ON TIMEOUT 7 GOTO 5000 @ SE
     T TIMEOUT 7;H1
4990 OUTPUT 723 ;"N3Z0M01D3"&U$
4995 OFF TIMEOUT 7 @ GOTO 5015
5000 OFF INTR 7 @ OFF TIMEOUT 7
     @ OFF KEY# 8 @ OFF TIMEP# 1
      @ OFF TIMER# 3 @ E1=3
5005 STATUS 7,1 ; S@ S=SPOLL(723
     )
5010 DISP USING 2015 ; @ DISP US
     ING 2020 ; @ DISP "POTENTIO
     STAT" @ E1=2 @ GOTO 5290
5015 CONTROL U$,0 ; 1,0
5020 ON KEY# 8,"STOP" GOTO 5280
5025 ON TIMER# 3,D8 GOTO 5265
5030 SETTIME 0,100
5035 F6=1 @ C9=0
5040 ! HUNTING LOOP
5045 ON TIMER# 1,H3 GOTO 5060
5050 SEND 7 ; MTA UNL LISTEN 23
5055 STATUS 7,2 , S@ IF BIT(S,0)
      THEN 5055 ELSE 5075
5060 OFF KEY# 8 @ OFF TIMER# 1
5065 DISP "DMM HANG UP" @ DISP "
     POTENSTIOSTAT" @ E1=2
5070 GOTO 5290
5075 OFF TIMER# 1
5080 STATUS 7,1 ; S@ S=SPOLL(723
     )
5085 ON INTR 7 GOTO 5100 @ ENABL
     E INTR 7,8
5090 TRIGGER 723 @ RESUME 7
5095 GOTO 5095
5100 OFF INTR 7 @ STATUS 7,1 ; S
     @ S=SPOLL(723)
5105 IF S=0 THEN 5130
5110 OFF KEY# 8 @ OFF TIMER# 1 @
      OFF TIMER# 3 @ E1=4
5115 DISP "POTENTIOSTAT"
5120 GOTO 5290
5125 ON TIMEOUT 7 GOTO 5140 @ SE
     T TIMEOUT 7;H2
5130 TRANSFER 723 TO U$ FHS
5135 OFF TIMEOUT 7 @ GOTO 5160
5140 OFF TIMEOUT 7 @ OFF KEY# 8
     @ OFF TIMER# 1 @ OFF TIMER#
      3
5145 STATUS 7,1 ; S@ S=SPOLL(723
     )
5150 DISP USING 2015 ; @ DISP US
     ING 2035 ; @ DISP "POTENTIO
     STAT"
5155 E1=2 @ GOTO 5290
5160 ENTER U$ USING "D.3De" ; U3
5165 D=U3-U0 @ V=ABS(D)
5170 C9=V<=V3(9)
5175 IF C9 THEN 5255
5180 P2=P3(9) @ F6=F5(9)
5185 ! CALL COMPLY
```

```
5190 GOSUB 5345
5195 IF E1 THEN 5265
5200 ON TIMEOUT 7 GOTO 5215 @ SE
     T TIMEOUT 7;H2
5205 U1=U1-F6*D @ OUTPUT V# USIN
     G 5235 ; U1 @ TRANSFER V# T
     O 717 FHS
5210 OFF TIMEOUT 7 @ GOTO 5240
5215 OFF TIMEOUT 7 @ OFF KEY# 8
     @ OFF TIMER# 1 @ OFF TIMER#
      3
5220 STATUS 7,1 ; S@ S=SPOLL(723
     )
5225 DISP USING 2015 ; @ DISP US
     ING 2040 ; @ DISP "POTENTIO
     STAT"
5230 E1=2 @ GOTO 5290
5235 IMAGE #,"B",S3D#,"U"
5240 ON TIMER# 1,P2 GOTO 5250
5245 GOTO 5345
5250 OFF TIMER# 1
5255 GOTO 5045
5260 ! END HUNTING LOOP
5265 OFF INTR 7 @ OFF TIMEOUT 7
     @ OFF KEY# 8 @ OFF TIMER# 1
      @ OFF TIMER# 3
5270 STATUS 7,1 ; S@ S=SPOLL(723
     )
5275 E1=1 @ GOTO 5290
5280 OFF INTR 7 @ OFF TIMEOUT 7
     @ OFF KEY# 8 @ OFF TIMER# 1
      @ OFF TIMER# 3 @ E1=3
5285 STATUS 7,1 ; S@ S=SPOLL(723
     )
5290 ON TIMEOUT 7 GOTO 5305 @ SE
     T TIMEOUT 7;H1
5295 OUTPUT 723 ;"M00D1N5Z1K"
5300 OFF TIMEOUT 7 @ GOTO 5325
5305 OFF TIMEOUT 7
5310 IF E1=1 THEN E1=2
5315 DISP USING 2015 ; @ DISP US
     ING 2020 ; @ DISP "POTENTIO
     STAT"
5320 IF E1>1 THEN 5330
5325 ON KEY# 8,"STOP" GOTO 192
     @ RETURN
5330 RETURN
5335 END ! POTENSTIOSTAT
5345 ! SUBROUTINE COMPLY
5350 OFF TIMER# 3 @ E1=0 @ D5=D8
-1000*TIME @ ON TIMER# 3,D5 GOTO
 5390
5355 FOR I=1 TO 8
5360 IF V<=V3(I) THEN 5375
5365 F2=P3(I) @ F6=F5(I)
5370 GOTO 5385
5375 NEXT I
5380 OFF TIMER# 3
5385 D5=D8-1000*TIME @ ON TIMER#
 3,D5 GOTO 5265 @ RETURN
5390 OFF TIMER# 3 @ E1=1
5395 RETURN
5400 END ! COMPLY
5410 ! SUBROUTINE GET_STATS
5415 FOR F9=1 TO 3
5420 S=2*F9-1 @ I=S+1
5425 FOR I8=1 TO N8
5430 I3=N8-I8+1
5435 Z0(F9,I8)=ABS(Z(S,I8)-Z(I,I
     3))/2
5440 O0(F9,I8)=ABS(O(S,I8)-O(I,I
     3))/2
5445 U0(F9,I8)=ABS(U(S,I8)-U(I,I
     3))/2
5450 V6(F9,I8)=ABS(V5(S,I8)-V5(I
     ,I3))/2
5455 NEXT I8
5460 NEXT F9
5465 RETURN
5470 END ! GET_STATS
5475 !
5480 ! SUBROUTINE VERNIER_PULSE
5485 D8=D7
5490 FOR I4=1 TO D4
5495 IF C9 THEN 5520
5500 ! CALL POTENTIOSTAT
5505 GOSUB 4960
5510 IF E1 THEN 5520
5515 NEXT I4
5520 RETURN
5525 END ! VERNIER_PULSE
```

SYSTEME À DEUX ÉLECTRODES LISTAGES BASIC

DOCUMENTATION INTERNE

```
1000 ! ADMITTANCES%CAPACITANCES
1010 ! HI RESOLUTION (LCR)
1020 ! PRODUCTION UNIT
1030 ! INTERNAL DOCUMENTATION
1040 ! FOR PROG Z&% ONLY
1050 ! FILE:Z&d
1060 ! UPDATED MAY 9/84
1070 ! RANDOMIZING MENU FREQU-
1080 ! ENCIES
1090 ! NEEDS 32K RAM
1100 ! EXTRA RELAX TIME AFTER
1110 ! FREQUENCY SWITCHING
1120 ! BEFORE THE MENU,MEASURES
1130 ! Urev AND ITS STANDARD
1140 ! DEVIATION
1150 ! DOUBLE LINEAR RAMP &
1160 ! IMPEDANCE ACQUISITION
1170 ! WITH HP%4274 LCR METER
1180 ! AND HP%3478A DMM
1190 ! FOLLOWED BY TAPE STORAGE
1200 ! OF THE DATA
1210 ! >FOR ELECTROLYTIC CELLS<
1220 ! SOME KEYBOARD INPUTS FOR
1230 ! DATA USED BY THE PROCES-
1240 ! SOR WILL BE ASKED
1250 ! AFTER THE CHOICE OF THE
1260 ! FREQUENCY MENU,THE USER
1270 ! IS INVITED TO INPUT
1280 ! A PERMUTATION OF 1,2,3
1290 ! (INCLUDING REPETITONS)
1300 ! THIS WILL HAVE THIS EF-
1310 ! FECT OF ALTERING THE
1320 ! SEQUENCE OF THE FREQUEN-
1330 ! CIES AND/OR OF INTRODU-
1340 ! DING REPETITIONS
1350 ! THIS FEATURE CAN BE TUR-
1360 ! NED OFF OR ON BY SETTING
1370 ! OR CLEARING FLAG R5 AT
1380 ! THE START OF MAIN
1390 ! CHOICE OF TWO SCAN
1400 ! RATES:FAST:37 mV/min
1410 ! AND SLOW:19 mV/min
1420 ! ************************
1430 ! JEAN LEDUC/CANMET/MSL
1440 ! ************************
1450 !
1460 REM TIMERS
1470 !       IN MAIN
1480 ! #1:IN ACQUIRE BLOCK:
1490 !    WILL DECLARE MTA
1500 !    ACKNOWLEDGE TIMEOUT
1510 !    PRIOR TO ORDERING
1520 !    THE GROUP EXECUTE
1530 !    TRIGGER COMMAND.
1540 !    THIS IS A FATAL RUN
1550 !    TIME ERROR:THE PRO-
1560 !    GRAM IS TERMINATED
1570 ! #2:RAMP LOOP;CONTROLS
1580 !    DC BIAS UPDATE
1590 ! #3:CONTROLS THE SAMPLING
1600 !    PERIOD
1610 !       SUBROUTINES
1620 !       GET_STATS
1630 ! #1:SAME FUNCTION AS IN
1640 !    MAIN
1650 ! #2:HAS A PERIOD OF 30
1660 !    SEC.CONTROLS SAM-
1670 !    PLING OF 10 VALUES
1680 !    OF IMPEDANCES IN OR-
1690 !    DER TO GET THE STAN-
1700 !    DARD DEVIATIONS
1710 !       SET_VOLTS
1720 ! #2:SAME AS IN MAIN
1730 !       GET_RELAXED
1740 ! #2:SAME AS IN MAIN
1750 !       ALL PROGRAM:
1760 !       TIMEOUT 7
1770 ! INTERFACE TIMER:GIVES
1780 ! TOTAL PROTECTION AGAINST
1790 ! CRASHES DUE TO BUS HANG-
1800 ! UPS FOR FORMATTED I/O
1810 ! AND FIRST HANDSHAKE PRO-
1820 ! TECTION AGAINST SAME FOR
1830 ! UNFORMATTED I/O
1840 ! (HP-85 vs LCR & DMM)
1850 ! THESE TIMEOUTS ARE FATAL
1860 ! RUN TIME ERRORS:THE PRO-
1870 ! GRAM TERMINATES
1880 ! THERE IS AN EXCEPTION:
1890 ! IN SR CHECK_DC,THE SE-
1900 ! COND TIMEOUT INDICATES
1910 ! THAT THE OPERATOR HAS
1920 ! TO PUT THE DC BIAS
1930 ! IN ITS PROPER POSITION.
1940 ! A WARNING IS ISSUED AND
1950 ! UPON RECTIFICATION,THE
1960 ! PROGRAM RESUMES.
1970 ! >>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>
1980 REM END TIMERS
1990 ! <<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<
2000 REM END-OF-LINE BRANCHES
2010 ! REQUEST FOR SERVICE
2020 ! INTERRUPT (BYTE 8)
2030 ! THIS CAN MEAN EITHER
2040 ! DATA READY (SERIAL POLL
2050 ! BYTE 65) OR MALFUNCTION
2060 ! IN THE LATTER CASE,THE
2070 ! PROGRAM IS TERMINATED
2080 !
2090 ! THE ERROR BRANCH
2100 ! IN MAIN,AT THE START,
2110 ! A HARDWARE SELF TEST IS
2120 ! MADE OF THE INTERFACE.
2130 ! FAILURE OF THE TEST IS
2140 ! A FATAL RUN TIME ERROR
2150 ! AND TERMINATES THE PRO-
2160 ! GRAM
2170 ! ALSO CONTINUES TO MONI-
2180 ! TOR THIS SITUATION
2190 ! THROUGHOUT THE PROGRAM
2200 !
2210 ! IN MAIN (ACQUIRE BLOCK),
2220 ! CHECKS THE ALIGNMENT OF
2230 ! THE I/O BUFFER AGAINST
2240 ! METERS FORMAT SPECS
2250 REM It was found that
2260 ! pick-up could severely
2270 ! mangle the throughput
2280 ! to the I/O buffer from
2290 ! the LCR meter ASCII
2300 ! queues
2310 REM An identical test is
2320 ! made when the LCR meter
2330 ! monitor ASCII queue is
2340 ! accessed by means of
2350 ! string logic (SR GET_AC)
2360 ! In SR GET_STATS,both LCR
2370 ! meter ASCII queues are
2380 ! accessed,and an iden-
2390 ! tical test is made
2400 ! This holds for the DMM
2410 ! ASCII queue as well.
2420 ! IF THIS MISALIGNMENT
2430 ! OCCURS,THIS IS A FATAL
2440 ! RUN TIME ERROR AND THE
2450 ! PROGRAM IS TERMINATED
2460 !
2470 ! ERROR BRANCH IN TAPE
2480 ! HANDLERS:
2490 ! SR GET_FILE_NAME
2500 ! THAT BRANCH ALLOWS
2510 ! RECOVERY FROM TAPE
2520 ! ERRORS SUCH AS:
2530 ! NO CASSETTE,IDENTIFIER
```

```
2540 ! CONFLICT,TAPE FULL,etc
2550 ! SR GET_TAPE:HERE A TAPE
2560 ! ERROR IS A FATAL RUN TI-
2570 ! ME ERROR AND THE PROGRAM
2580 ! IS TERMINATED
2590 ! <<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<
2600 REM END END-OF-LINE
2610 ! $$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$
2620 REM TAPE THROUGHPUT
2630 ! A FILE NAME IS ASKED AS
2640 ! AS KBD INPUT.THIS FILE
2650 ! NAME WILL BE THE IDENTI-
2660 ! FIER OF THE OUPUT FILE
2670 ! THE FILE HAS 3 LOGICAL
2680 ! RECORDS OF 2170 BYTES.
2690 ! EACH;THIS CORRESPONDS
2700 ! TO 9 PRU'S.
2710 ! THIS GIVES A TOTAL OF 27
2720 ! PRU'S (6912 BYTES)
2730 REM FOR THE FORMAT DETAIL,
2740 REM SEE THE CODE IN FILE
2750 REM Z6
2760 ! $$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$
2770 REM END TAPE THROUGHPUT
2780 ! !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
2790 REM  VARS
2800 ! F9$:  OUTPUT FILE NAME
2810 ! U8,U9:REVERSIBLE POTEN-
2820 ! TIAL AND ITS STANDARD
2830 ! DEVIATION,RESPECTIVELY,
2840 ! IN VOLT
2850 ! U1,U2:VOLTAGE LIMITS
2860 !       RAMP (WE-CE),VLT
2870 ! D0:   THE SIGNUM OF
2880 !       THEIR DIFFERENCE
2890 ! U3:   SINCE U1 & U2 ARE
2900 !       ESTIMATES,THIS
2910 !       STORES THE REMOTE
2920 !       CODES OF DC BIAS
2930 !       AT THE START AND
2940 !       THE END OF EACH
2950 !       STROKE,FOR EACH
2960 !       MENU ITEM
2970 !       [1:3;1:2]ARRAY OF
2980 !       LONG REAL
2990 ! U7,V: SCRATCH VARS
3000 ! U0:   INSTANTANEOUS DC
3010 !       BIAS,(WE-CE),VLT
3020 ! U:    Usce (DC) (VLT):
3030 !       [1:2;1:42] ARRAY
3040 !       OF LONG REAL
3050 ! S0:   STANDARD DEV OF
3060 !       ABOVE,VLT
3070 ! R0:   RAMP COURSE COR-
3080 !       RECTION TALLY
3090 ! U$,V$,Z$:I/O BUFFERS
3100 ! S9$,S8$,F$:SETTINGS
3110 !             VARS
3120 ! V0:   AC VLT,mV;R.M.S.
3130 ! I8$:  ASCII VALUE OF
3140 !       AC OSCILLATOR
3150 !       LEVEL MULTIPLIER;
3160 !       OUTPUTTED BY SR
3170 !       GET_AC AND USED
3180 !       AS (PARTIAL) INPUT
3190 !       BY SR ECHO.
3200 ! Z:    MODULI OF
3210 !       THE IMPEDANCES,Ω:
3220 !       [1:2;1:42] ARRAY
3230 !       OF LONG REAL
3240 ! O:    PHASE (DEG) OF
3250 !       THE IMPEDANCES:
3260 !       [1:2;1:42] ARRAY
3270 !       OF LONG REAL
3280 ! Z0,O0:STD. DEV. OF ABOVE
3290 !       QUANTITIES
3300 ! O3:         IF /Z/ FALLS
3310 !             BELOW THIS
3320 !             VALUE,THIS
3330 !             WILL BE TAKEN
3340 !             AS A SIGN OF
3350 !             MASSIVE COR-
3360 !             ROSION;THIS
3370 !             IS A FATAL
3380 !             RUN TIME
3390 !             ERROR
3400 ! C0,G0:PARALLEL COR-
3410 !       RECTIONS FOR DMM
3420 !       LOADING
3430 !       C0:CAPACITANCE,nF;
3440 !       G0:CONDUCTANCE,nS
3450 !       BOTH:[1:3]ARRAYS
3460 !       OF LONG REAL
3470 ! S9:   SAMPLING PERIOD,
3480 !       mSEC
3490 ! R8:   NOMINAL RAMP
3500 !       PERIOD,mSEC
3510 ! R3:   NOMINAL SCAN RATE,
3520 !       mV/min
3530 ! R9:   RAMP PERIOD,COR-
3540 !       RECTED FOR RAMP
3550 !       PULSE WIDTH,mSEC
3560 ! I9:   STROKE COUNTER
3570 ! I8:   SAMPLING COUNTER
3580 ! F9:   MENU COUNTER
3590 ! F:    MENU VECTOR:
3600 !       [1:3] ARRAY OF
3610 !       INTEGER
3620 ! O5:   MENU ORDERING VEC-
3630 !       TOR,[1:3] ARRAY
3640 !       OF INTEGER
3650 ! F0:   ACTUAL FREQUENCIES
3660 !       CORRESPONDING TO
3670 !       THE MENU VECTOR,
3680 !       KHz:
3690 !       [1:3] ARRAY OF
3700 !       LONG REAL
3710 ! N8:   NUM. PTS/STROKE
3720 ! S:    INTERFACE AND/OR
3730 !       LCR METER REGISTER
3740 !       DECIMAL VALUE
3750 ! V1    DMM REGISTER,DECI-
3760 !       MAL VALUE
3770 ! E1,C,E0:FLAGS
3780 ! T4:   RAMP TIMEOUT,SEC
3790 ! D9   :INTERMENU RELAXA-
3800 !       TION PERIOD,min
3810 ! W0:   BOOLEAN:IF THE
3820 !       WAITING PERIOD
3830 !       IS LESS THAN 26
3840 !       MINUTES,SET TO
3850 !       TRUE
3860 ! W5:   FOR W0 FALSE,NUM-
3870 !       BER (INTEGER) OF
3880 !       TIMES THAT D9 GOES
3890 !       INTO 26 MINUTES
3900 ! D7:   IF W0 TRUE:=D9
3910 !       ELSE REMAINDER
3920 !       OF D9 MODULO 26
3930 !       MINUTES
3940 ! P8:   NUM OF CONDITIO-
3950 !       NING CYCLES BEFORE
3960 !       THAT PARTICULAR
3970 !       RUN
3980 ! P9:   CUMULATIVE NUMBER
3990 !       OF CONDITIONING
4000 !       CYCLES
4010 REM END VARS
4020 ! !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
4030 REM CONSTANTS
4040 ! C1,G1:PARALLEL CORREC-
4050 ! FOR DMM COAX LOADING;
4060 ! C1:CAPACITANCE,nF
4070 ! G1:CONDUCTANCE,nS
```

```
4080 LET C1= 148
4090 LET G1=0
4100 LET N0=42 ! BASIC ARRAY
4110 !           DIMENSION
4120 LET D=.001 ! 1mV INCREMENT
4130 LET T9=.111 ! RAMP PULSE
4140 !             WIDTH,SEC
4150 LET Q=65 ! DATA RDY BYTE
4160 !          BOTH FOR THE
4170 !          DMM & LCR ME-
4180 !          TER:SERIAL RE-
4190 !          GISTER MASKED
4200 LET V7=1 ! SIMILAR FOR THE
4210 !          DMM,BUT WITH
4220 !          UNMASKED SERI-
4230 !          AL POLL REGIS-
4240 !          TER
4250 LET H1=360 ! FORMATTED I/O
4260 !           TIMEOUT,mSEC
4270 LET H2=50 ! UNFORMATTED
4280 !           I/OTIMEOUT,
4290 !           mSEC
4300 LET H3=260 ! GROUP EXECUTE
4310 !           TRIGGER
4320 !           MTA ACKNOW-
4330 !           LEDGE
4340 !           TIMEOUT,mSEC
4350 LET H4=600 ! DMM SELF-TEST
4360 !           TIMEOUT,mSEC
4370 LET P=.002 ! CPU STACK
4380 !           PUSH-PULL DE-
4390 !           LAY,SEC
4400 LET H5=26 ! MAXIMUM
4410 !           ARGUMENT OF
4420 !           'WAIT' IN
4430 !           MINUTES
4440 REM END CONSTANTS
4450 ! !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
```

CODE

PROGRAMME PRINCIPAL

```
1000 ! ADMITTANCES&CAPACITANCES
1005 ! HI RESOLUTION (LCR)
1010 ! FILE:Z6&----FULL SYSTEM
1015 ! TESTED FEB 29/84
1020 ! MAINTENANCE:MAY/3/84
1025 ! SLOW FREQUENCY MENU
1030 ! DOCUMENTS THE CUMULATIVE
1035 ! NUMBER OF CONDITIONNING
1040 ! PASSES
1045 ! CHOICE OF SCAN RATES:
1050 ! 37 mV/min OR 19 mV/min
1055 ! PRODUCTION UNIT:
1060 REM FOR FURTHER DOCUMEN-
1065 ! TATION,SEE FILE Z6d
1070 ! EXTRA WAIT BEFORE Urev
1075 ! ##########################
1080 ! JEAN LEDUC/CANMET/EMR/MSL
     1036 ! CHOICE OF SCAN RATES
     :
1085 ! ##########################
1090 DEFAULT OFF
1095 OPTION BASE 1
1100 SHORT R,D,T9,S9,R9,D0,H1,H2
     ,H3,H4,H5,R8,V0,V,R0,P,D9,D
     7,R3
1105 REAL U1,U2,T4,U0,U7,Z0,00,S
     0,U8,U9,03,C1,G1
1110 INTEGER O5(3),F(3),I9,S,I8,
     N0,Q,N8,F9,E1,C,R5,E0,V1,S7
     ,V7,W0,W5,P9,P8
1115 DIM Z(2,42),O(2,42),U(2,42)
     ,U3(3,2),F0(3),C0(3),G0(3)
1120 DIM V$[19],U$[21],Z$[42],S8
     $[9],S9$[13],F$[2],S7$[25],
     I8$[1]
1125 DIM F9$[5]
1130 IOBUFFER V$
1135 IOBUFFER U$
1140 IOBUFFER Z$
1145 ! !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
1150 ! BEGIN MAIN
1155 CLEAR @ DISP USING 1250 ;
1160 IF ERROM=0 THEN 1180
1165 DISP USING 1170 ;
1170 IMAGE "I/O ROM ERROR",/,"@@
     @ABORT@@@"
1175 GOTO 2440
1180 ON ERROR GOTO 1195
1185 RESET 7
1190 OFF ERROR @ GOTO 1210
1195 OFF ERROR @ DISP USING 1200
      ; @ GOTO 2440
1200 IMAGE "INTERFACE FAILS SELF
      DIAGNOSIS",/,"@@@ABORT@@@"
1205 ENABLE KBD 33
1210 N0=42 @ D=.001 @ T9=.111 @
     R8=1500 @ Q=65 @ V7=1 @ H1=
     360 @ H2=50 @ H3=260 @ H4=6
     00
1215 P=.002 @ H5=26 @ R3=37
1220 C1=.148 @ G1=0
1225 C=0
1230 REM :RANDOMIZE MENU :
1235 LET R5=0 ! 1=NOT RANDOM
1240 PRINT USING 1250 ;
1245 WAIT 10000
1250 IMAGE "ADMITTANCES&HI&CAPAC
     ITANCES",/,"CONDITIONING",/
     ,"RATES"
1255 ! CALL GET_FILE_NAME
1260 GOSUB 4795
1265 ENABLE KBD 32
1270 ABORTIO 7 @ REMOTE 717,723
     @ LOCAL LOCKOUT 7
1275 ! CALL CHECK_DC
1280 GOSUB 3385
1285 IF E1 THEN 2380
1290 ! CALL GET_RATE
1295 GOSUB 5800
1300 R9=R8-T9*1000
1305 CLEAR
1310 ON TIMEOUT 7 GOTO 1325 @ SE
     T TIMEOUT 7;H1
1315 OUTPUT 723 ;"F1R0N5T3Z1D1"
1320 OFF TIMEOUT 7 @ GOTO 1330
1325 OFF TIMEOUT 7 @ DISP "TIMEO
     UT,DMM SETTING" @ GOTO 2380
1330 CLEAR @ DISP "INTERMENU REL
     AXATION TIME,min";
1335 ENABLE KBD 1
1340 INPUT D9
1345 W0=D9<=H5
1350 IF W0 THEN 1370
1355 W5=D9\H5
1360 D7=H5*FP(D9/H5)
1365 H5=H5*60000 @ GOTO 1375
1370 D7=D9
1375 D7=D7*60000 @ D9=D9*60000
1380 CLEAR @ DISP USING 1385 ; D
     9/60000
1385 IMAGE "Urev:PRELIMINARY REL
     AXATION:-",/,3X,2D.D," min"
1390 ! CALL WAIT_A_WHILE
1395 GOSUB 5315
1400 DISP "Urev + STD. DEV" @ DI
     SP "5min"
1405 ON TIMEOUT 7 GOTO 1420 @ SE
     T TIMEOUT 7;H1
1410 OUTPUT 717 ;"I1"
1415 OFF TIMEOUT 7 @ GOTO 1430
1420 OFF TIMEOUT 7 @ DISP "DMM H
     ANG-UP,SETTINGS"
1425 GOTO 2380
1430 ! CALL GET_STATS
1435 GOSUB 3680
1440 ON E1 GOTO 1445,2250,2380,2
     215
1445 U9=S0 @ U8=U(1,2)
1450 PRINT USING 1455 ; U8,U9
1455 IMAGE "Urev=",SD.3D," +/- "
     ,SD.3D,3/
1460 ON TIMEOUT 7 GOTO 1475 @ SE
     T TIMEOUT 7;H1
1465 OUTPUT 723 ;"T1"
1470 OFF TIMEOUT 7 @ GOTO 1480
1475 OFF TIMEOUT 7 @ DISP "TIMEO
     UT,DMM SETTINGS" @ GOTO 260
     0
1480 ENABLE KBD 33
1485 ! CALL SET_VOLTS
1490 GOSUB 4055
1495 ON E1 GOTO 1500,2380,2230
1500 ENABLE KBD 32
1505 ! CALL GET_AC
1510 GOSUB 3505
1515 IF E1 THEN 2380
1520 I8$=VAL$(I8)
1525 ENABLE KBD 0
1530 ! CALL SET_SAMPLES
1535 GOSUB 4500
1540 ENABLE KBD 32
1545 ! CALL GET_FREQUENCY
1550 GOSUB 2855
1555 REM SETTINGS
1560 ON TIMEOUT 7 GOTO 1575 @ SE
     T TIMEOUT 7;H1
1565 OUTPUT 717 ;"A4B1C2D0H1R31S
     6T3"
1570 OFF TIMEOUT 7 @ GOTO 1595
1575 OFF TIMEOUT 7
1580 CLEAR @ BEEP 5,1000
1585 DISP USING 2305 ; @ DISP US
     ING 2310 ; @ DISP USING 231
     5 ; @ GOTO 2380
```

```
1590 REM S8$,S9$:FOR ECHO TEST
1595 S8$=" A4B1C2D0" @ S9$="H1I1
     M"&I8$&"R31S0T3"
1600 IMAGE "BI",S3De,"V"
1605 ENABLE KBD 32
1610 CLEAR
1615 ON KEY# 8,"STOP" GOTO 2215
1620 KEY LABEL
1625 DISP USING 1250 ; @ DISP
1630 DISP USING 1640 ; D9/60000
1635 PRINT USING 1640 ; D9/60000
1640 IMAGE "PRE MENU CELL RELAXA
     TION",/,2D.D," min"
1645 ! CALL WAIT_A_WHILE
1650 GOSUB 5315
1655 E0=0 @ U0=U1-D
1660 ENABLE KBD 33
1665 ! CALL GET_RELAXED
1670 GOSUB 5360
1675 IF E1 THEN 2380
1680 ENABLE KBD 32
1685 ! ##########################
1690 ! MENU LOOP
1695 FOR F9=1 TO 3
1700 PRINT
1705 CLEAR @ KEY LABEL @ DISP US
     ING 1250 ;
1710 BEEP 5,1000 @ WAIT 3000 @ C
     LEAR
1715 E1=F(F9)
1720 ON TIMEOUT 7 GOTO 1735 @ SE
     T TIMEOUT 7;H1
1725 OUTPUT 717 USING 1740 ; E1
1730 OFF TIMEOUT 7 @ GOTO 1755
1735 OFF TIMEOUT 7 @ CLEAR @ BEE
     P
1740 IMAGE "F",2D
1745 DISP USING 2305 ; @ DISP US
     ING 2310 ; @ DISP USING 231
     5 ;
1750 GOTO 2380
1755 CLEAR
1760 DISP USING 1765 ; F9,D9/600
     00
1765 IMAGE "MENU ITEM#",D,/,"REL
     AXATION:",2D.D," min"
1770 ! CALL WAIT_A_WHILE
1775 GOSUB 5315
1780 F$=VAL$(E1)
1785 ! CALL ECHO
1790 GOSUB 4600
1795 IF E1 THEN 2380
1800 CLEAR @ DISP USING 1805 ; F
     9,F0(F9)
1805 IMAGE "FREQ #",D,X,3D.D," K
     Hz",X,"STD. DEV.'S",/,"5 mi
     n"
1810 ! CALL GET_STATS
1815 GOSUB 3680
1820 ON E1 GOTO 1825,2250,2380,2
     215
1825 PRINT USING 1830 ; F9,F0(F9
     )
1830 IMAGE /,"MENU ITEM#:",D," F
     REQ:",3D.D," KHz",/
1835 PRINT USING 1840 ; Z0,00
1840 IMAGE "STD. DEV. [/Z/]=",2D
     .3De," Ω",/,"STD. DEV. [θ]=
     ",D.D," deg"
1845 O3=Z(1,2)/5
1850 PRINT USING 1855 ; O3
1855 IMAGE "MIN /Z/ FOR CORROSIO
     N ABORT:",/,D.2De," Ω"
1860 PRINT USING 1865 ; S0
1865 IMAGE "STD. DEV. [Usce]=",Z
     .3D," VOLT"
1870 STATUS 7,1 ; S@ S=SPOLL(717
     ) @ V1=SPOLL(723)
1875 ! STROKE COUNT LOOP
1880 ! $$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$
1885 FOR I9=1 TO 2
1890 R0=0
1895 U3(F9,I9)=U0
1900 CLEAR
1905 ! SAMPLING LOOP
1910 ! @@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@
1915 FOR I8=1 TO N8
1920 ON INTR 7 GOTO 2240 @ ENABL
     E INTR 7;8
1925 ON ERROR GOTO 2265
1930 IF I8=1 THEN 2000
1935 ! RAMP LOOP
1940 ! &&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&
1945 OFF TIMER# 2
1950 ON TIMEOUT 7 GOTO 1970 @ SE
     T TIMEOUT 7;H2
1955 U0=U0+D @ OUTPUT V$ USING 1
     965 ; U0 @ TRANSFER V$ TO 7
     17 FHS
1960 OFF TIMEOUT 7 @ GOTO 1980
1965 IMAGE #,"BI",S3De,"V"
1970 OFF INTR 7 @ OFF TIMEOUT 7
     @ OFF KEY# 8 @ OFF TIMER# 3
1975 DISP USING 2305 ; @ DISP US
     ING 2330 ; @ DISP USING 233
     5 ; @ GOTO 2380
1980 ON TIMER# 2,R9 GOTO 1945
1985 GOTO 1985
1990 ! END RAMP LOOP
1995 ! &&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&&
2000 ! ACQUIRE BLOCK
2005 ! ##########################
2010 OFF TIMER# 3 @ OFF TIMER# 2
      @ SETTIME 0,317
2015 REM This SR has the data
2020 ! ready byte SRQ interrupt
2025 ! enabled
2030 ! CALL START_METERS
2035 GOSUB 2460
2040 ON E1 GOTO 2040,2380,2215
2045 OFF INTR 7 @ SETTIME 0,317
2050 STATUS 7,1 ; S@ S=SPOLL(717
     ) @ V1=SPOLL(723)
2055 ! CALL READ_&_CHECK
2060 GOSUB 2555
2065 ON E1 GOTO 2070,2380,2215,2
     230
2070 ! CALL SHOW_DATA
2075 GOSUB 2730
2080 ! CALL VERNIER_PULSE
2085 GOSUB 2775
2090 ON E1 GOTO 2095,2380,2215
2095 ON TIMER# 3,S9 GOTO 2000
2100 ! END ACQUIRE
2105 ! ##########################
2110 NEXT I8
2115 ! @@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@
2120 ! END SAMPLING LOOP
2125 OFF ERROR @ OFF INTR 7 @ OF
     F TIMER# 2 @ OFF TIMER# 3
2130 CLEAR @ DISP "END STROKE" @
      BEEP 5,3000
2135 D=-D @ D0=-D0
2140 WAIT 59
2145 NEXT I9
2150 ! END STROKE COUNT LOOP
2155 ! $$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$
2160 ! CALL GET_TAPE
2165 GOSUB 4935
2170 IF E1 THEN 2380
2175 ! CALL PRINT_DATA
2180 GOSUB 5050
2185 NEXT F9
2190 ! END MENU LOOP
```

```
2195 ! ▓▓▓▓▓▓▓▓▓▓▓▓▓▓▓▓▓▓▓▓▓▓▓▓▓▓
2200 REM :NORMAL ESCAPE
2205 OFF ERROR @ OFF INTR 7 @ OF
     F TIMEOUT 7 @ OFF KEY# 8 @
     OFF TIMER# 2 @ OFF TIMER# 3
2210 C,E1=0 @ GOTO 2380
2215 REM KEY#8 ESCAPE
2220 OFF ERROR @ OFF INTR 7 @ OF
     F TIMEOUT 7 @ OFF KEY# 8 @
     OFF TIMER# 2 @ OFF TIMER# 3
2225 C=1 @ GOTO 2380
2230 REM :ILLEGAL SRQ ESCAPE
2235 ! OUTSIDE OF ACQUISITION
2240 OFF ERROR @ OFF INTR 7 @ OF
     F TIMEOUT 7 @ OFF KEY# 8 @
     OFF TIMER# 2 @ OFF TIMER# 3
2245 STATUS 7,1 ; S@ S=SPOLL(717
     )
2250 ! CALL EXPLAIN_SRQ
2255 GOSUB 4685
2260 C=1 @ GOTO 2380
2265 REM ERROR ESCAPE
2270 OFF ERROR @ OFF INTR 7 @ OF
     F TIMEOUT 7 @ OFF KEY# 8 @
     OFF TIMER# 2 @ OFF TIMER# 3
2275 STATUS 7,1 ; S@ S=SPOLL(717
     )
2280 ! CALL EXPLAIN_ERROR
2285 GOSUB 5255
2290 C=1 @ GOTO 2380
2295 REM ERROR MESSAGES
2300 ! ◀◀◀◀◀◀◀◀◀◀◀◀◀◀◀◀◀◀◀◀◀◀◀◀◀◀
2305 IMAGE "BUS HANG-UP IN"
2310 IMAGE "FORMATTED WRITE,"
2315 IMAGE "INITIAL,SETTINGS"
2320 IMAGE "DC BIAS STATUS CHECK
     "
2325 IMAGE "INITIAL DC BIAS CODE
     "
2330 IMAGE "UNFORMATTED WRITE,"
2335 IMAGE "RAMP LOOP"
2340 IMAGE "GRP EXEC TRIG",/,"MT
     A ACK TIMEOUT"
2345 IMAGE "UNFORMATTED READ,"
2350 IMAGE "ACQUIRE BLOCK"
2355 IMAGE "INTERCALATED PULSE"
2360 IMAGE "INTERFACE GARBLE,"
2365 IMAGE "OVER- OR UNDER-FLOW,
     LCR",/,"MAIN MEMORY"
2370 ! ◀◀◀◀◀◀◀◀◀◀◀◀◀◀◀◀◀◀◀◀◀◀◀◀◀◀
2375 REM END ERROR MESSAGES
2380 REM :COM ESCAPE POINT
2385 ASSIGN# 7 TO *
2390 DISP "TERMINATE" @ BEEP
2395 STATUS 7,1 ; S@ S=SPOLL(717
     ) @ V1=SPOLL(723)
2400 OUTPUT 717 ;"BI000E00VI0"
2405 OUTPUT 723 ;"KM00"
2410 DISP USING 2415 ;
2415 IMAGE "DON'T FORGET TO SWIT
     CH OFF",/,"THE DC BIAS SWIT
     CH BEFORE",/,"REMOVING THE
     CELL"
2420 LOCAL 7 @ ABORTIO 7
2425 BEEP @ DISP "END OF" @ DISP
      USING 1250 ;
2430 DISP USING 2435 ;
2435 IMAGE "THE PROCESSOR FILE N
     AME IS:",/,10X,"Z6RC#"
2440 END ! MAIN
```

SOUS-PROGRAMMES

```
2460 ! SUBROUTINE START_METERS
2465 E1=1
2470 ON KEY# 8,"STOP" GOTO 2535
2475 ON TIMER# 1,H3 GOTO 2490
2480 SEND 7 ; MTA UNL LISTEN 17,
     23
2485 STATUS 7,2 ; S@ IF BIT(S,0)
      THEN 2485 ELSE 2500
2490 OFF ERROR @ OFF INTR 7 @ OF
     F KEY# 8 @ OFF TIMER# 1
2495 DISP USING 2340 ; @ E1=2 @
     GOTO 2540
2500 OFF TIMER# 1 @ STATUS 7,1 ;
      S@ S=SPOLL(717) @ V1=SPOLL
     (723)
2505 OFF INTR 7 @ ON INTR 7 GOTO
      2045
2510 TRIGGER 717,723 @ RESUME 7
2515 WAIT 1000
2520 REM The RETURN to avoid
2525 REM timing problem
2530 ENABLE INTR 7;8 @ ON KEY# 8
     ,"STOP" GOTO 2215 @ RETURN
2535 OFF INTR 7 @ OFF KEY# 8 @ E
     1=3
2540 RETURN
2545 END ! START_METERS
2555 ! SUBROUTINE READ_&_CHECK
2560 E1=1 @ ON KEY# 8,"STOP" GOT
     O 2710
2565 IF S=Q AND V1=V7 THEN 2575
2570 OFF KEY# 8 @ E1=4 @ E0=1 @
     GOTO 2715
2575 ! CALL PULL_SCE
2580 GOSUB 5125
2585 IF E1>1 THEN 2715
2590 CONTROL Z$,0 ; 1,0
2595 ON TIMEOUT 7 GOTO 2610 @ SE
     T TIMEOUT 7;H2
2600 TRANSFER 717 TO Z$ FHS
2605 OFF TIMEOUT 7 @ GOTO 2625
2610 OFF TIMEOUT 7 @ OFF KEY# 8
2615 DISP USING 2305 ; @ DISP US
     ING 2345 ; @ DISP USING 235
     0 ;
2620 E1=2 @ GOTO 2715
2625 ON ERROR GOTO 2645
2630 ENTER Z$ USING 2635 ; Z(I9,
     I8),O(I9,I8)
2635 IMAGE #,6X,D.5De,3X,2D.5De
2640 OFF ERROR @ GOTO 2660
2645 OFF ERROR @ OFF KEY# 8
2650 DISP USING 2360 ; @ DISP US
     ING 2350 ;
2655 E1=2 @ GOTO 2715
2660 REM Num ch in LCR main
2665 ! ASCII queue:34
2670 CONTROL Z$,0 ; 1,34
2675 IF Z$[4,4]&Z$[19,19]="NN" T
     HEN 2685
2680 OFF KEY# 8 @ DISP USING 236
     5 ; @ E1=2 @ GOTO 2715
2685 IF Z(I9,I8)>03 THEN 2705
2690 OFF ERROR @ OFF INTR 7 @ OF
     F TIMEOUT 7 @ OFF KEY# 8 @
     OFF TIMER# 2 @ OFF TIMER# 3
2695 DISP "MASSIVE CORROSION"
2700 E1=2 @ GOTO 2715
2705 ON KEY# 8,"STOP" GOTO 2215
     @ GOTO 2715
2710 OFF ERROR @ OFF TIMEOUT 7 @
      OFF KEY# 8 @ E1=3
2715 RETURN
2720 END ! READ_&_CHECK
2730 ! SUBROUTINE SHOW_DATA
2735 IF RMD(I8-1,14)#0 THEN 2750
2740 CLEAR @ DISP USING 2745 ;
2745 IMAGE "F!",",S!",",Pt#!",",Usc
     e,V ;",",/Z/,Q     !8,de
2750 DISP USING 2755 ; F9,I9,I8,
     V(I9,I8),Z(I9,I8),O(I9,I8)
2755 IMAGE 2(D,"!"),2D,X,"!",SZ.
     3D," ;",D.3De,"!",3D.D
2760 RETURN
2765 END ! SHOW_DATA
2775 ! SUBROUTINE VERNIER_PULSE
2780 E1=1 @ ON KEY# 8,"STOP" GOT
     O 2830
2785 T4=TIME @ T4=T4+T9+P
2790 T4=T4*1000+R0 @ R0=FP(T4) @
      V=FLOOR(T4)/R8
2795 IF V<1 THEN 2835
2800 U0=U0+D0*V/1000
2805 ON TIMEOUT 7 GOTO 2820 @ SE
     T TIMEOUT 7;H2
2810 OUTPUT V$ USING 1965 ; U0 @
      TRANSFER V$ TO 717 FHS
2815 OFF TIMEOUT 7 @ U0=U0+D @ G
     OTO 2835
2820 OFF TIMEOUT 7 @ OFF KEY# 8
2825 E1=2 @ GOTO 2840
2830 OFF TIMEOUT 7 @ OFF KEY# 8
     @ E1=3 @ GOTO 2840
2835 ON KEY# 8,"STOP" GOTO 2215
2840 RETURN
2845 END ! VERNIER PULSE
2855 ! SUBROUTINE GET_FREQUENCY
2860 ON KEY# 1,"A" GOTO 2890 @ O
     N KEY# 2,"B" GOTO 2895 @ ON
      KEY# 3,"C" GOTO 2900
2865 ON KEY# 4,"D" GOTO 2905
2870 CLEAR @ DISP USING 2875 ; @
      DISP USING 2880 ; @ KEY LA
     BEL
2875 IMAGE "FREQUENCY MENUS"
2880 IMAGE "A: .2,2,20 KHz",/,"B:
     .4,4,40 KHz",/,"C:1,10,100
     KHz",/,"D: .4,1,2 KHz"
2885 GOTO 2885
2890 OFF KEY# 1 @ OFF KEY# 2 @ O
     FF KEY# 3 @ OFF KEY# 4 @ RE
     STORE 2915 @ E1=1 @ GOTO 29
     35
2895 OFF KEY# 1 @ OFF KEY# 2 @ O
     FF KEY# 3 @ OFF KEY# 4 @ RE
     STORE 2920 @ E1=2 @ GOTO 29
     35
2900 OFF KEY# 1 @ OFF KEY# 2 @ O
     FF KEY# 3 @ OFF KEY# 4 @ RE
     STORE 2925 @ E1=3 @ GOTO 29
     35
2905 OFF KEY# 4 @ OFF KEY# 1 @ O
     FF KEY# 2 @ OFF KEY# 3 @ RE
     STORE 2930 @ E1=4 @ GOTO 29
     35
2910 REM REMOTE CODES
2915 DATA 13,16,19
2920 DATA 14,17,20
2925 DATA 15,18,21
2930 DATA 14,15,16
2935 READ F(1),F(2),F(3)
2940 ON E1 GOTO 2945,2955,2965,2
     975
2945 RESTORE 2990
2950 GOTO 2980
2955 RESTORE 2995
2960 GOTO 2980
2965 RESTORE 3000
2970 GOTO 2980
2975 RESTORE 3005
2980 READ F0(1),F0(2),F0(3)
```

```
2985 REM FREQS,KHz
2990 DATA .2,2,20
2995 DATA .4,4,40
3000 DATA 1,10,100
3005 DATA .4,1,2
3010 ON E1 GOTO 3015,3025,3035,3
     045
3015 RESTORE 3085
3020 GOTO 3050
3025 RESTORE 3095
3030 GOTO 3050
3035 RESTORE 3105
3040 GOTO 3050
3045 RESTORE 3110
3050 READ C0(1),C0(2),C0(3)
3055 READ G0(1),G0(2),G0(3)
3060 REM DMM CORRECTIONS;
3065 REM PARALLEL;BY PAIRS OF
3070 REM DATA STMTS
3075 REM TOP OF PAIR:C,nF;
3080 REM BOTTOM OF PAIR:G,nS
3085 DATA .5187,.37946,.034914
3090 DATA 39.7,2819.7,9735.6
3095 DATA .5128,.21541,.025577
3100 DATA 156,6082,9998
3105 DATA .47558,.068393,.022641
3110 DATA 689,9108.8,10502
3115 DATA .5128,.47558,.37946
3120 DATA 156,885,2819
3125 IF R5=1 THEN 3140
3130 ! CALL CHOOSE ORDER
3135 GOSUB 3190
3140 PRINT USING 3145 ; F0(1),F0
     (2),F0(3)
3145 IMAGE "MENU FREQUENCIES,KHz
     ",/,3(3D.D,X)
3150 CLEAR
3155 FOR F9=1 TO 3
3160 C0(F9)=C0(F9)+C1
3165 G0(F9)=G0(F9)+G1
3170 NEXT F9
3175 RETURN
3180 END ! GET_FREQUENCY
3190 ! SUBROUTINE CHOOSE_ORDER
3195 CLEAR @ DISP "ENTER ORDER"
3200 ENABLE KBD 1
3205 DISP "■";
3210 INPUT O5(1),O5(2),O5(3)
3215 FOR S=1 TO 3
3220 IF O5(S)>=1 AND O5(S)<=3 TH
     EN 3230
3225 GOTO 3240
3230 NEXT S
3235 GOTO 3245
3240 DISP "◀IMPROPER ENTRY◀" @ G
     OTO 3205
3245 ENABLE KBD 32
3250 FOR S=1 TO 3
3255 Z(1,S)=F0(O5(S))
3260 NEXT S
3265 FOR S=1 TO 3
3270 F0(S)=Z(1,S)
3275 NEXT S
3280 FOR S=1 TO 3
3285 Z(1,S)=C0(O5(S))
3290 NEXT S
3295 FOR S=1 TO 3
3300 C0(S)=Z(1,S)
3305 NEXT S
3310 FOR S=1 TO 3
3315 Z(1,S)=G0(O5(S))
3320 NEXT S
3325 FOR S=1 TO 3
3330 G0(S)=Z(1,S)
3335 NEXT S
3340 FOR S=1 TO 3
3345 O5(S)=F(O5(S))
3350 NEXT S
3355 FOR S=1 TO 3
3360 F(S)=O5(S)
3365 NEXT S
3370 RETURN
3375 END ! CHOOSE ORDER
3385 ! SUBROUTINE CHECK_DC
3390 E1=0
3395 ON TIMEOUT 7 GOTO 3410 @ SE
     T TIMEOUT 7;H4
3400 CLEAR 723
3405 OFF TIMEOUT 7 @ GOTO 3420
3410 OFF TIMEOUT 7 @ E1=1 @ DISP
      "DMM FAILS SELF-TEST"
3415 GOTO 3490
3420 ON TIMEOUT 7 GOTO 3435 @ SE
     T TIMEOUT 7;H1
3425 OUTPUT 717 ;"I0"
3430 OFF TIMEOUT 7 @ GOTO 3445
3435 OFF TIMEOUT 7 @ E1=1 @ DISP
      USING 2305 ; @ DISP USING
     2310 ; @ DISP USING 2315 ;
3440 GOTO 3490
3445 OFF KEY# 1 @ S=SPOLL(717)
3450 ON TIMEOUT 7 GOTO 3465 @ SE
     T TIMEOUT 7;H1
3455 OUTPUT 717 ;"B1000E00V"
3460 OFF TIMEOUT 7 @ GOTO 3490
3465 OFF TIMEOUT 7
3470 CLEAR @ BEEP 5,1000 @ ON KE
     Y# 1 GOTO 3445
3475 IMAGE "PUT THE DC BIAS SWIT
     CH",/,"IN 'int' POSITION,PL
     EASE",/,"WHEN DONE,PUSH KEY
     #1"
3480 DISP USING 3475 ;
3485 GOTO 3485
3490 RETURN
3495 END ! CHECK_DC
3505 ! SUBROUTINE GET_AC
3510 E1=0
3515 I8=1
3520 ! CALL MULT_IT
3525 GOSUB 5630
3530 IF E1 THEN 3600
3535 ON KEY# 7,"READY" GOTO 3550
3540 CLEAR @ KEY LABEL @ DISP "A
     C LEVEL ADJUST"
3545 IF E1 THEN 3600 ELSE 3545
3550 OFF KEY# 7
3555 ON TIMEOUT 7 GOTO 3570 @ SE
     T TIMEOUT 7;H1
3560 OUTPUT 717 ;"LV"
3565 OFF TIMEOUT 7 @ GOTO 3580
3570 OFF TIMEOUT 7
3575 GOTO 3600
3580 CONTROL Z$,0 ; 21,20@ ON TI
     MEOUT 7 GOTO 3595 @ SET TIM
     EOUT 7;H2
3585 TRANSFER 717 TO Z$ FHS
3590 OFF TIMEOUT 7 @ GOTO 3605
3595 OFF TIMEOUT 7
3600 DISP USING 2305 ; @ GOTO 36
     25
3605 E1=Z$[21,21]=" " @ S=Z$[22,
     22]="N" @ IF E1 AND S THEN
     3635
3610 CLEAR @ IF S THEN 3620
3615 DISP USING 2360 ; @ GOTO 36
     25
3620 DISP USING 3895 ;
3625 DISP "◀AC LEVEL ROUTINE◀"
3630 GOTO 3665
3635 ENTER Z$ USING 3905 ; V0
3640 IF V0>=.004 AND V0<=.006 TH
     EN 3655
3645 DISP "READJUST" @ WAIT 1000
```

```
3650 E1=0 @ GOTO 3535
3655 V=V0 @ V0=V0*1000 @ DISP US
     ING 3660 ; V0 @ WAIT 4000 @
      CLEAR @ E1=0
3660 IMAGE "AC OK DON'T TOUCH",/
     ,"AC VLT:",3D.D," mV R.M.S.
     "
3665 OFF KEY# 7 @ OFF KEY# 1 @ O
     FF KEY# 2 @ OFF KEY# 3 @ RE
     TURN
3670 END ! GET_AC
3680 ! SUBROUTINE GET_STATS
3685 OFF KEY# 8 @ ON KEY# 8 GOTO
      4030
3690 Z(1,2),0(1,2),U(1,2),Z0,00,
     S0=0
3695 E1=1
3700 FOR I8=1 TO 10
3705 ON TIMER# 2,30000 GOTO 3715
3710 GOTO 3710
3715 OFF TIMER# 2 @ ON TIMER# 1,
     H3 GOTO 3730
3720 SEND 7 ; MTA UNL LISTEN 17,
     23
3725 STATUS 7,2 , S@ IF BIT(S,0)
      THEN 3725 ELSE 3740
3730 OFF KEY# 8 @ OFF TIMER# 1
3735 DISP USING 2340 ; @ E1=3 @
     GOTO 4040
3740 OFF TIMER# 1 @ S=SPOLL(717)
      @ V1=SPOLL(723) @ STATUS 7
     ,1 ; S7
3745 ON INTR 7 GOTO 3760 @ ENABL
     E INTR 7;8
3750 TRIGGER 717,723 @ RESUME 7
3755 GOTO 3755
3760 OFF INTR 7 @ STATUS 7,1 ; S
     @ S=SPOLL(717) @ V1=SPOLL(7
     23)
3765 WAIT 1000
3770 IF S=Q AND V1=V7 THEN 3780
3775 E1=2 @ E0=1 @ OFF KEY# 8 @
     GOTO 4040
3780 CONTROL Z$,0 ; 1,0@ ON TIME
     OUT 7 GOTO 3795 @ SET TIMEO
     UT 7;H2
3785 TRANSFER 717 TO Z$ FHS
3790 OFF TIMEOUT 7 @ GOTO 3800
3795 OFF TIMEOUT 7 @ OFF KEY# 8
     @ GOTO 3870
3800 E1=Z$[1,1]=" " @ S=Z$[4,4]&
     Z$[19,19]="NN" @ IF E1 AND
     S THEN 3820
3805 CLEAR @ IF S THEN 3815
3810 DISP USING 3895 ; @ GOTO 39
     00
3815 DISP USING 2360 ; @ DISP US
     ING 2365 ; @ GOTO 3900
3820 ENTER Z$ USING 2635 ; Z(1,1
     ),0(1,1)
3825 Z(1,2)=Z(1,2)+Z(1,1) @ 0(1,
     2)=0(1,2)+0(1,1) @ Z0=Z0+Z(
     1,1)^2 @ 00=00+0(1,1)^2
3830 ON TIMEOUT 7 GOTO 3845 @ SE
     T TIMEOUT 7;H1
3835 OUTPUT 717 ;"LA"
3840 OFF TIMEOUT 7 @ GOTO 3850
3845 OFF TIMEOUT 7 @ OFF KEY# 8
     @ OFF TIMER# 2 @ GOTO 3870
3850 CONTROL Z$,0 ; 21,20@ ON TI
     MEOUT 7 GOTO 3865 @ SET TIM
     EOUT 7;H2
3855 TRANSFER 717 TO Z$ FHS
3860 OFF TIMEOUT 7 @ GOTO 3875
3865 OFF TIMEOUT 7 @ OFF KEY# 8
     @ OFF TIMER# 2
3870 DISP USING 2305 ; @ DISP US
     ING 2345 ; @ DISP "STD. DEV
     .'S" @ GOTO 3900
3875 E1=Z$[21,21]=" " @ S=Z$[22,
     22]="N" @ IF E1 AND S THEN
     3910
3880 CLEAR @ IF S THEN 3890
3885 DISP USING 2360 ; @ GOTO 39
     00
3890 DISP USING 3895 ;
3895 IMAGE "UNDER OR OVER FLOW",
     /,"LCR,MONITOR QUEUE"
3900 E1=3 @ GOTO 4040
3905 IMAGE #,3X,2D.2De
3910 CONTROL U$,0 ; 1,0
3915 ON TIMEOUT 7 GOTO 3930 @ SE
     T TIMEOUT 7;H2
3920 TRANSFER 723 TO U$ FHS
3925 OFF TIMEOUT 7 @ GOTO 3950
3930 OFF TIMEOUT 7 @ OFF KEY# 8
3935 DISP USING 2305 ; @ DISP US
     ING 2345 ; @ DISP "DMM"
3940 E1=3
3945 GOTO 4040
3950 ON ERROR GOTO 3970
3955 ENTER U$ USING 3960 ; V
3960 IMAGE #,SD.5De
3965 OFF ERROR @ GOTO 3985
3970 OFF ERROR @ OFF KEY# 8 @ DI
     SP USING 3975 ;
3975 IMAGE "GARBLE,BUS<DMM"
3980 E1=3 @ GOTO 4040
3985 IF V<9999990000 THEN 4000
3990 DISP "*DMM OVLD*"
3995 E1=3 @ GOTO 4040
4000 U(1,2)=U(1,2)+V
4005 S0=S0+V^2
4010 NEXT I8
4015 Z(1,2)=Z(1,2)/10 @ 0(1,2)=0
     (1,2)/10 @ U(1,2)=U(1,2)/10
4020 Z0=SQR(Z0-Z(1,2)^2*10)/3 @
     00=SQR(00-0(1,2)^2*10)/3 @
     S0=SQR(S0-U(1,2)^2*10)/3
4025 WAIT 4000 @ CLEAR @ GOTO 40
     35
4030 OFF KEY# 8 @ E1=4 @ GOTO 40
     40
4035 ON KEY# 8,"STOP" GOTO 2215
4040 RETURN
4045 END ! GET_STATS
4055 ! SUBROUTINE SET_VOLTS
4060 E1=1 @ E0=0
4065 CLEAR @ U0=6 @ DISP USING 4
     070
4070 IMAGE "NOW THE CELL IS AT U
     rev"
4075 WAIT 2000
4080 IMAGE "CHOOSE SCAN DIRECTIO
     N",/,"TO GET AT START VOLT"
4085 ON KEY# 1,"+" GOTO 4095 @ O
     N KEY# 2,"-" GOTO 4100 @ KE
     Y LABEL @ DISP USING 4080 ;
4090 GOTO 4090
4095 OFF KEY# 1 @ OFF KEY# 2 @ U
     7=1 @ GOTO 4105
4100 OFF KEY# 2 @ OFF KEY# 1 @ U
     7=-1
4105 ON KEY# 1,"1" GOTO 4120 @ O
     N KEY# 2,"10" GOTO 4125 @ O
     N KEY# 3,"50" GOTO 4130
4110 ON KEY# 4,"100" GOTO 4140 @
      CLEAR @ KEY LABEL @ DISP "
     CHOOSE SCAN RATE,mV/S"
4115 GOTO 4115
4120 OFF KEY# 1 @ OFF KEY# 2 @ O
     FF KEY# 3 @ OFF KEY# 4 @ U7
     =.001*U7 @ GOTO 4145
```

```
4125 OFF KEY# 2 @ OFF KEY# 1 @ O
     FF KEY# 3 @ OFF KEY# 4 @ U7
     =.01*U7 @ GOTO 4145
4130 OFF KEY# 3 @ OFF KEY# 1 @ O
     FF KEY# 2 @ OFF KEY# 4 @ U7
     =.05*U7 @ GOTO 4145
4135 IMAGE "CHOOSE SCAN DIRECTIO
     N",/,"TO GET AT START VOLT"
4140 OFF KEY# 4 @ OFF KEY# 1 @ O
     FF KEY# 2 @ OFF KEY# 3 @ U7
     =.1*U7
4145 ON KEY# 1,"HALT" GOTO 4225
     @ CLEAR @ KEY LABEL @ DISP
     USING 4150 ;
4150 IMAGE "NOW WATCH THE DMM"
4155 OFF TIMER# 2 ! RAMP LOOP
4160 CONTROL V$,0 ; 1,0
4165 U0=U0+U7 @ OUTPUT V$ USING
     1965 ; U0
4170 ON TIMEOUT 7 GOTO 4185 @ SE
     T TIMEOUT 7;H2
4175 TRANSFER V$ TO 717 FHS
4180 OFF TIMEOUT 7 @ GOTO 4205
4185 OFF TIMEOUT 7 @ E1=2
4190 CLEAR @ DISP USING 2305 ; @
      DISP USING 2325 ;
4195 DISP USING 2330 ; @ DISP US
     ING 2335 ;
4200 GOTO 4485
4205 ON TIMER# 2,1000 GOTO 4155
4210 GOTO 4210
4215 ! END RAMP LOOP
4220 CONTROL V$,0 ; 1,0
4225 OFF KEY# 1 @ OFF TIMER# 2
4230 ON KEY# 1,"RERUN" GOTO 4065
      @ ON KEY# 2,"OK" GOTO 4250
4235 CLEAR @ KEY LABEL @ DISP US
     ING 4240
4240 IMAGE "CHOOSE OPTION"
4245 GOTO 4245
4250 OFF KEY# 2 @ OFF KEY# 1
4255 ON TIMEOUT 7 GOTO 4270 @ SE
     T TIMEOUT 7;H1
4260 OUTPUT 723 ;"T4KM01"
4265 OFF TIMEOUT 7 @ GOTO 4285
4270 OFF TIMEOUT 7
4275 DISP USING 2305 ; @ DISP US
     ING 2310 ; @ DISP USING 231
     5 ;
4280 E1=2 @ GOTO 4485
4285 SEND 7 ; MTA UNL LISTEN 23
4290 ON TIMER# 1,H1 GOTO 4305
4295 STATUS 7,2 ; S@ IF BIT(S,0)
      THEN 4295
4300 OFF TIMER# 1 @ GOTO 4320
4305 OFF TIMER# 1
4310 DISP USING 2340 ;
4315 E1=1 @ GOTO 4485
4320 V1=SPOLL(723) @ STATUS 7,1
     ; S
4325 ON INTR 7 GOTO 4340 @ ENABL
     E INTR 7;8
4330 TRIGGER 723
4335 GOTO 4335
4340 V1=SPOLL(723) @ STATUS 7,1
     ; S
4345 IF V1=0 THEN 4355
4350 E0=1 @ E1=3 @ GOTO 4485
4355 ON TIMEOUT 7 GOTO 4375 @ SE
     T TIMEOUT 7;H2
4360 CONTROL U$,0 ; 1,0
4365 TRANSFER 723 TO U$ FHS
4370 OFF TIMEOUT 7 @ GOTO 4390
4375 OFF TIMEOUT 7
4380 DISP USING 2305 ; @ DISP US
     ING 2345 ; @ DISP USING 232
     5 ;
4385 E1=2 @ GOTO 4485
4390 ON ERROR GOTO 4405
4395 ENTER U$ USING 5180 ; V
4400 OFF ERROR @ GOTO 4415
4405 OFF ERROR @ E1=2 @ DISP USI
     NG 2360 ; @ DISP "DMM"
4410 GOTO 4485
4415 IF V<9999990000 THEN 4425
4420 DISP "DMM OVLD" @ E1=2 @ GO
     TO 4485
4425 U1=U0
4430 CLEAR @ DISP "OTHER (SCE) V
     OLT LIMIT";
4435 INPUT U7
4440 U7=U7-V
4445 U2=U1+U7
4450 ON TIMEOUT 7 GOTO 4465 @ SE
     T TIMEOUT 7;H1
4455 OUTPUT 723 ;"KM00"
4460 OFF TIMEOUT 7 @ GOTO 4485
4465 OFF TIMEOUT 7
4470 DISP USING 2305 ; @ DISP US
     ING 2310 ; @ DISP USING 232
     5 ;
4475 E1=2
4480 CONTROL U$,0 ; 1,0@ CONTROL
      V$,0 ; 1,0
4485 RETURN
4490 END ! SET_VOLTS
4500 ! SUBROUTINE SET_SAMPLES
4505 U7=2*V
4510 U0=U2-U1 @ D0=SGN(U0) @ N8=
     ABS(U0)^U7
4515 IF N8<=N0 THEN 4525
4520 N8=N0 @ U7=1000*ABS(U0)/(N0
     -1) @ U7=IP(U7)/1000
4525 U2=U1+U7*D0*(N8-1)
4530 D=D*D0 @ S9=R8*U7*1000*N8/(
     N8-1)
4535 PRINT USING 4540 ; N8
4540 IMAGE "NUM PTS/STROKE:",2D,
     /,"ADJUSTED VALUES,(BIAS,VL
     T)"
4545 IF R3>20 THEN 4565
4550 PRINT USING 4555 ; U1,U2,S9
     /60000
4555 IMAGE "END PTS,DC BIAS:",SD
     .3D,",",SD.3D,/,"SAMPLING P
     ERIOD:",3D.D," min"
4560 GOTO 4575
4565 PRINT USING 4570 ; U1,U2,S9
     /1000
4570 IMAGE "END PTS,DC BIAS:",SD
     .3D,",",SD.3D,/,"SAMPLING P
     ERIOD:",3D.D," SEC"
4575 PRINT USING 4580 ; V0
4580 IMAGE "AC VLT:",2D.D," mV R
     .M.S."
4585 RETURN
4590 END ! SET_SAMPLES
4600 ! SUBROUTINE ECHO
4605 E1=0
4610 ON TIMEOUT 7 GOTO 4625 @ SE
     T TIMEOUT 7;H1
4615 OUTPUT 717 ;"K"
4620 OFF TIMEOUT 7 @ ON TIMEOUT
     7 GOTO 4640 @ SET TIMEOUT 7
     ;H1 @ GOTO 4630
4625 OFF TIMEOUT 7 @ GOTO 4645
4630 ENTER 717 ; S7$
4635 OFF TIMEOUT 7 @ GOTO 4655
4640 OFF TIMEOUT 7 @ CLEAR @ BEE
     P 5,1000
4645 DISP USING 2305 ; @ DISP "*
     **ECHO TEST***"
4650 E1=1 @ GOTO 4670
```

```
4655 IF S7$=S8$&"F"&F$&S9$ THEN
     4670
4660 E1=1 @ DISP USING 4665 ;
4665 IMAGE "ERROR IN SETTINGS"
4670 RETURN
4675 END ! ECHO

4685 ! SUBROUTINE EXPLAIN_SRQ
4690 CLEAR @ BEEP 5,1000 @ DISP
     "ILLEGAL SERVICE REQUEST"
4695 IF E0 THEN 4705
4700 S=SPOLL(717) @ STATUS 7,1 ;
      E1
4705 IF S=0 OR S=Q THEN 4740
4710 DISP @ DISP "LCR METER"
4715 FOR I8=3 TO 1 STEP -1
4720 IF BIT(S,I8) THEN 4730
4725 NEXT I8
4730 DISP USING 4735 ; I8
4735 IMAGE "MOST SEVERE BIT ASSE
     RTED IS# ",D
4740 IF E0 THEN 4750
4745 V1=SPOLL(723) @ STATUS 7,1
     ; E1
4750 IF V1=0 OR V1=Q OR V1=V7 TH
     EN 4780
4755 DISP @ DISP "DMM"
4760 FOR I8=5 TO 2 STEP -1
4765 IF BIT(V1,I8) THEN 4775
4770 NEXT I8
4775 DISP USING 4735 ; I8
4780 RETURN
4785 END ! EXPLAIN_SRQ
4795 ! SUBROUTINE GET_FILE_NAME
4800 CLEAR @ BEEP 5,1000 @ DISP
     "ENTER FILE NAME (5 CH MAX)
     ";
4805 ON ERROR GOTO 4820
4810 INPUT F9$
4815 OFF ERROR @ GOTO 4830
4820 OFF ERROR
4825 DISP "INPUT ERROR" @ WAIT 3
     000 @ GOTO 4800
4830 ON ERROR GOTO 4845
4835 REWIND
4840 OFF ERROR @ GOTO 4850
4845 OFF ERROR @ DISP "NO CASSET
     TE" @ WAIT 5000 @ GOTO 4800
4850 ON ERROR GOTO 4865
4855 CREATE F9$,3,2178
4860 OFF ERROR @ ASSIGN# 7 TO F9
     $ @ GOTO 4910
4865 OFF ERROR
4870 IMAGE "NAME IN CATALOGUE",/
     ,"CHOOSE ANOTHER"
4875 IMAGE "NOT ENOUGH ROOM TO C
     REATE",/,"A NEW FILE",/,"US
     E ANOTHER TAPE",/,"PAUSE"
4880 IF ERRN=63 THEN 4900
4885 DISP USING 4875 ; @ BEEP 20
     ,4000
4890 PAUSE
4895 GOTO 4850
4900 BEEP @ DISP USING 4870 ; @
     WAIT 3000
4905 GOTO 4800
4910 PRINT "FILE NAME:-";F9$
4915 CLEAR
4920 RETURN
4925 END ! GET_FILE_NAME
4935 ! SUBROUTINE GET_TAPE
4940 OFF KEY# 8
4945 ON ERROR GOTO 5025
4950 REWIND
4955 PRINT# 7,F9 ; N8,F9,S9,D9,F
     0,F9>,V0,Z0,00,S0,U8,U9
4960 FOR S=1 TO 2
4965 PRINT# 7 ; U3(F9,S)
4970 NEXT S
4975 PRINT# 7 ; C0(F9)
4980 PRINT# 7 ; G0(F9)
4985 FOR S=1 TO N8
4990 PRINT# 7 ; U(1,S),U(2,S),Z(
     1,S),Z(2,S),O(1,S),O(2,S)
4995 NEXT S
5000 PRINT# 7 ; A3
5005 OFF ERROR @ CLEAR @ DISP US
     ING 5010 ; F9,F0(F9)
5010 IMAGE "END TAPE FOR MENU IT
     EM#",D,,,"FREQ:",3D D," KHz
     "
5015 BEEP @ WAIT 3000 @ CLEAR
5020 ON KEY# 8,"STOP" GOTO 2215
     @ S1=0 @ GOTO 5035
5025 OFF ERROR @ E1=1 @ DISP USI
     NG 5030 ;
5030 IMAGE "**TAPE I/O ERROR**"
5035 RETURN
5040 END ! GET_TAPE

5050 ! SUBROUTINE PRINT_DATA
5055 IMAGE /,"F#:","U:@ V :","
     /Z:,@     :@,d@@'
5060 IMAGE 2D,X,"!",SZ 3D," :",D
     .3De,":",3D D
5065 PRINT
5070 FOR I9=1 TO 2
5075 PRINT
5080 IF I9=1 THEN PRINT "FORWARD
      STROKE" ELSE PRINT "REVERS
     E STROKE"
5085 PRINT USING 5055 ;
5090 FOR I8=1 TO N8
5095 PRINT USING 5060 ; I8,U(I9,
     I8),Z(I9,I8),O(I9,I8)
5100 NEXT I8
5105 NEXT I9
5110 RETURN
5115 END ! PRINT_DATA
5125 ! SUBROUTINE PULL_SCE
5130 ON KEY# 8,"STOP" GOTO 5235
5135 CONTROL U$,0 ; 1,0
5140 ON TIMEOUT 7 GOTO 5155 @ SE
     T TIMEOUT 7,H2
5145 TRANSFER 723 TO U$ FHS
5150 OFF TIMEOUT 7 @ GOTO 5170
5155 OFF TIMEOUT 7 @ OFF KEY# 8
5160 DISP USING 2305 ; @ DISP 27
     90;@ DISP 2830;@ E1=2
5165 GOTO 5240
5170 ON ERROR GOTO 5190
5175 ENTER U$ USING 5180 ; V
5180 IMAGE SD.5De
5185 OFF ERROR @ GOTO 5205
5190 OFF ERROR @ OFF KEY# 8
5195 DISP USING 2360 ; @ E1=2
5200 GOTO 5240
5205 IF V<9999990000 THEN 5225
5210 DISP "*DMM OVLD*"
5215 E1=2
5220 GOTO 5240
5225 U(I9,I8)=V
5230 GOTO 5240
5235 OFF KEY# 8 @ E1=3
5240 ON KEY# 8,"STOP" GOTO 2215
     @ RETURN
5245 END ! PULL_SCE
5255 ! SUBROUTINE EXPLAIN_ERROR
5260 IF ERRN=0 THEN 5270
5265 DISP USING 1170 ;
5270 IF ERRSC=0 THEN 5285
5275 DISP USING 5280 ;
5280 IMAGE "INTERFACE ERROR";
5285 S=ERRN @ V1=ERRL
```

```
5290 DISP USING 5295 ; S,V1
5295 IMAGE "ERROR CODE IS:",3D,/
     ,"AT LINE#",4D
5300 RETURN
5305 END ! EXPLAIN_ERROR

5315 ! SUBROUTINE WAIT_A_WHILE
5320 IF W0 THEN 5340
5325 FOR E1=1 TO W5
5330 WAIT W5
5335 NEXT E1
5340 WAIT D7
5345 RETURN
5350 END ! WAIT A WHILE
5360 ! SUBROUTINE GET_RELAXED
5365 E1=0
5370 CLEAR @ DISP "CONDITIONING"
5375 DISP "CUMULATIVE NUMBER OF
     PASSES";
5380 INPUT P9
5385 DISP "NUMBER OF PASSES FOR
      THIS RUN";
5390 INPUT P8
5395 IF P8>=1 THEN 5410
5400 PRINT "NO CONDITIONING"
5405 GOTO 5615
5410 PRINT USING 5415 ; P9
5415 IMAGE "NUM. CONDITIONING PA
     SSES:",2D
5420 ON TIMEOUT 7 GOTO 5430 @ SE
     T TIMEOUT 7;W1
5425 OUTPUT 723 ;"KM00T1"
5430 OFF TIMEOUT 7 @ GOTO 5445
5435 OFF INTR 7 @ OFF TIMEOUT 7
     @ OFF KEY# 6 @ OFF TIMER# 3
5440 DISP USING 2305 ; @ DISP US
     ING 2330 ; @ DISP USING 233
     5 ; @ E1=1 @ GOTO 5615
5445 DISP USING 5450 ;
5450 IMAGE "PRELIMINARY ELECTROD
     E CHECK:",/"SEE IF ΔUsce α
     ΔVbias"
5455 FOR F9=1 TO P8
5460 FOR I9=1 TO 2
5465 FOR I8=1 TO N8
5470 ON TIMER# 3,S9 GOTO 5535
5475 ! RAMP LOOP
5480 ! ↓↓↓↓↓↓↓↓↓↓↓↓↓↓↓↓↓↓↓↓↓↓↓↓↓
5485 OFF TIMER# 2
5490 ON TIMEOUT 7 GOTO 5505 @ SE
     T TIMEOUT 7;W2
5495 U0=U0+D @ OUTPUT V$ USING 1
     965 ; U0 @ TRANSFER V$ TO 7
     17 FHS
5500 OFF TIMEOUT 7 @ GOTO 5515
5505 OFF INTR 7 @ OFF TIMEOUT 7
     @ OFF KEY# 8 @ OFF TIMER# 3
5510 DISP USING 2305 ; @ DISP US
     ING 2330 ; @ DISP USING 233
     5 ; @ E1=1 @ GOTO 5615
5515 ON TIMER# 2,R9 GOTO 5485
5520 GOTO 5520
5525 ! END RAMP LOOP
5530 ! ↑↑↑↑↑↑↑↑↑↑↑↑↑↑↑↑↑↑↑↑↑↑↑↑↑
5535 OFF TIMER# 3 @ OFF TIMER# 2
5540 NEXT I8
5545 CLEAR @ DISP "END STROKE:CO
     NDITIONING" @ BEEP 5,3000
5550 D=-D @ D0=-D0
5555 WAIT S9
5560 NEXT I9
5565 NEXT F9
5570 ON KEY# 1,"SHUT UP" GOTO 55
     80 @ CLEAR @ KEY LABEL @ DI
     SP "END OF CONDITIONING"
5575 BEEP 5,1000 @ WAIT 1000 @ G
     OTO 5575

5580 OFF KEY# 1 @ DISP USING 558
     5 ;
5585 IMAGE 2/,"'PAUSE'",/"PUSH [
     CONT] TO RESUME"
5590 PAUSE
5595 ON TIMEOUT 7 GOTO 5610 @ SE
     T TIMEOUT 7;W1
5600 OUTPUT 723 ;"KM00T4"
5605 OFF TIMEOUT 7 @ GOTO 5615
5610 OFF TIMEOUT 7 @ DISP "BUS H
     ANGUP" @ E1=1
5615 RETURN
5620 END ! GET_RELAXED
5630 ! SUBROUTINE MULT_IT
5635 IMAGE "M",D
5640 ON TIMEOUT 7 GOTO 5655 @ SE
     T TIMEOUT 7;W1
5645 OUTPUT 717 USING 5635 ; I8
5650 OFF TIMEOUT 7 @ GOTO 5660
5655 OFF TIMEOUT 7 @ E1=1 @ GOTO
      5665
5660 ON KEY# 1,".01" GOSUB 5680
     @ ON KEY# 2,".1" GOSUB 5720
      @ ON KEY# 3,"1" GOSUB 5760
5665 RETURN
5670 END ! MULT_IT

5680 ! SUBROUTINE .01
5685 OFF KEY# 1 @ OFF KEY# 2 @ O
     FF KEY# 3
5690 I8=1
5695 ! CALL MULT_IT
5700 GOSUB 5630
5705 RETURN
5710 END ! .01

5720 ! SUBROUTINE .1
5725 OFF KEY# 1 @ OFF KEY# 2 @ O
     FF KEY# 3
5730 I8=2
5735 ! CALL MULT_IT
5740 GOSUB 5630
5745 RETURN
5750 END ! .1

5760 ! SUBROUTINE 1
5765 OFF KEY# 1 @ OFF KEY# 2 @ O
     FF KEY# 3
5770 I8=3
5775 ! CALL MULT_IT
5780 GOSUB 5630
5785 RETURN
5790 END ! 1

5800 ! SUBROUTINE GET_RATE
5805 ON KEY# 1,"FAST" GOTO 5815
     @ ON KEY# 2,"SLOW" GOTO 582
     0 @ CLEAR @ KEY LABEL @ DIS
     P "CHOOSE RATE"
5810 GOTO 5810
5815 OFF KEY# 1 @ OFF KEY# 2 @ G
     OTO 5830
5820 OFF KEY# 1 @ OFF KEY# 2
5825 R3=R3/2 @ R8=R8*2
5830 PRINT USING 5835 ; R3
5835 IMAGE /,"SCAN RATE:",2D," m
     V/min",/
5840 RETURN
5845 END ! GET_RATE
```

SONDAGE

L'opinion des lecteurs intéressés peut influencer l'orientation future des recherches à CANMET.

Nous vous invitons, donc, à évaluer le rapport - n° _____

Est-il utile?	Oui____	Non____
Traite-t-il d'un problème de l'industrie?	Oui____	Non____
Le sujet est-il prioritaire?	Oui____	Non____

Commentaires _____

_____

_____ _____

Postez à: Rédacteur de CANMET, EMR, 555, rue Booth,
Ottawa, Ontario, K1A 0G1

Une copie gratuite de la REVUE DE CANMET sera envoyée sur demande.